

**Diseño de un modelo costo-beneficio en la implementación de un sistema de
fitorremediación de aguas residuales contaminadas con cromo en las
curtiembres de san Benito sur de Bogotá**

Paula Rodríguez & Cindy Poveda.

Agosto 2016.

Fundación universitaria los Libertadores.

Facultad de Ingeniería.

Ingeniería industrial

Agradecimientos

Le agradecemos primeramente a Dios por habernos acompañado a lo largo de nuestra carrera universitaria y guiarnos en todos los momentos que esta nos trajo, sobre todo por habernos permitido vivir una etapa tan enriquecedora llena de conocimientos, aprendizajes y experiencias maravillosas rodeadas de personas excelentes.

Le agradecemos a nuestros padres, nuestro pilar ya que gracias a sus interminables esfuerzos nos brindaron la posibilidad de acceder a la educación superior y hasta la fecha nos han apoyado y guiado para convertirnos en unas personas íntegras capaces de resolver cualquier dificultad que se nos presente a lo largo de nuestra vida, ya que gracias a su ardua labor y al darnos las herramientas suficientes para cualquier circunstancia que aunque nuestro modo de crianza hayan sido diferentes y nuestra casa no sea la misma nos sentimos inmensamente orgullosas de nuestros padres y convencidas de su excelente labor ya que son un gran ejemplo a seguir.

A nuestros hermanos ya que hacen parte importante de nuestra vida y hacer parte de nuestra unidad familiar también por siempre contar con su apoyo cuando del requeríamos.

Agradecemos también al esfuerzo, confianza y entrega de nuestros docentes a lo largo de la carrera ya que nos compartieron sus conocimientos y experiencias dándose a conocer como los docentes que son sino también por permitirnos conocerlos como personas, por habernos brindado su apoyo y comprensión convirtiéndose así en esa familia que se escoge ya que desde hoy y por siempre serán nuestra familia libertadora.

Al ingeniero Uriel Fernando Carreño por su increíble desempeño como nuestro Director de tesis por habernos tenido en cuenta para el desarrollo conjunto de este proyecto ya que fue nuestro docente desde quinto semestre y fue en este momento donde nos dimos cuenta de este tema en común que aunque con enfoque diferentes el objetivo era mismo que era el de la mitigación del daño ambiental generado por parte del sector curtidor.

Resumen

En este documento se estudiará la viabilidad de la implementación de una PTAR realizada con un método natural para contrarrestar el potente daño ambiental concentrado en el sector de curtido de pieles del cual se emiten residuos hídricos bastante tóxicos como lo son el aluminio, el cromo, el DBO entre otros convirtiendo esta industria como una de las fuentes emisoras de desechos más contaminantes, ya que estos son vertidos al río Tunjuelito, así mismo estos desencadenan en el Río Bogotá sin ningún tipo de tratamiento mitigante, de aquí es donde parte este proyecto, el cual consta de la recolección de una planta que crece en posos, lagunas y humedales, se conoce con el nombre de *Eichhornia Crassipes*, una especie invasora que tras estudios realizados se demostró que es capaz de absorber todos los componentes dañinos que se encuentren en el agua por lo tanto esta es capaz de absorber el cromo y el DBO que se encuentra en el agua emitida después del proceso productivo de las pieles. Debido a la anterior información se decidió realizar una prueba piloto la cual consta de confirmar la efectividad de esta planta y analizar los costos que esta implementación trae, la elaboración de este documento se verá reflejada tras cuatro objetivos puntuales donde se estudiaron diversas etapas para verificar la viabilidad ambiental, comercial y legal. Primordialmente se ejecutó el estudio físico de pruebas realizadas a la efectividad de la planta y de los requerimientos de la implementación, seguido por la evaluación de los términos y condiciones legales que implica la implementación de esta planta como un sistema PTAR no convencional, posterior a esto, la evaluación de los costos totales del desarrollo del proyecto y con esto definir si es o no es apto para ser implementado en esta industria de manera investigativa y comercial de tal manera que se pueda determinar un modelo costo-beneficio del proyecto. En términos generales esto se halló por medio de múltiples estudios de mercados, análisis de costos y una evaluación detenida de cada etapa.

Tabla de contenido

v

Capítulo I	1
1. Introducción e información general	1
Capítulo II	5
2. MARCO TEORICO	5
2.1 Costo-beneficio	5
2.2 Eichhornia Crassipes	5
2.3 Fitorremediación de aguas contaminadas con metales	6
2.4 Fitorremediación con Eichhornia Crassipes	7
3. ESTADO DEL ARTE	10
3.1 sistemas de tratamiento de aguas con diferentes agentes biológicos	10
3.2 estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio	13
3.3 La valoración contingente: una alternativa para determinar la viabilidad financiera de proyectos de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales de países tropicales	14
4. MARCO LEGAL	15
Capítulo III	17
5. METODOLOGÍA	17
5.1 Caracterizar los diferentes componentes de la fitorremediación a través de la Eichhornia crassipes.	17
5.1.1 Asilamiento de la Eichhornia crassipes de diferentes humedales	17
5.2 Evaluar la efectividad del sistema de fitorremediación a través de la Eichhornia crassipes.	22
5.2.1 análisis de resultados	24
5.2.2 Propuesta de Tratamiento Escalonado de Eichhornia Crassipes	29
5.2.3 Pruebas de remoción de DBO	31
5.3 Determinar los costos en la implementación del sistema de fitorremediación	35
5.3.1 COSTO MINIMO:	36
5.3.2 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN:	36
5.3.3 PRECIO POR TRATAMIENTO:	37
5.4 Determinar los beneficios en las remociones de fitorremediación a través de la Eichhornia crassipes.	38
5.4.1 FICHA TECNICA	38
5.4.2 MANUAL DE USO	39
5.4.3 CONSUMIDOR (POBLACIÓN OBJETIVO): CURTIEMBRES SAN BENITO	40
5.4.4 NICHOS DE MERCADO	40
5.4.5 DEMANDA	41
5.4.6 DIFERENTES OFERTAS DE PTAR EN EL MERCADO:	47
Capítulo IV	49
6. CONCLUSIONES	49
7. RECOMENDACIONES	50
8. APÉNDICE	60
9. VITA	63

Tabla 1 Lista de residuos en la industria de la piel	16
Tabla 2 Porcentajes de aguas destiladas y agua de curtiembre	23
Tabla 3 Muestreo de calidad del agua	23
Tabla 4 Costos legales y de viáticos.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5 Costos de materiales.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 6 Costos de implementación.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7. Precio por tratamiento.	¡Error! Marcador no definido.
<i>Tabla 8 Manual de implementación de una PTAR usando eichhornia crassipes</i>	39
Tabla 9 Lista de curtiembres en Colombia	40
Tabla 10 Relación entre el costo y el beneficio del Sistema	¡Error! Marcador no definido.

Lista de figuras

vii

Figura 1. Diseño del recipiente.....	20
Figura 2 diseño del sistema de tratamiento	20

Foto 1 Experimento realizado por (velarde et al 2013)	8
Foto 2 Humedal.	18
Foto 3 Aislado la Echhornia	19
Foto 4 Experimentación	21
Foto 5 Experimento del tratamiento en sus primeros días	33
Foto 6 Experimento del tratamiento en días intermedios	33
Foto 7 Experimento del tratamiento en sus ultimos días	34
Foto 8 Frascos con las aguas tratadas a diferentes días	34

Lista de gráficos

Gráfica 1 Concentraciones de cromo (612 mg/L) iniciales	25
Gráfica 2 Concentraciones de cromo remociones % en concentraciones iniciales de (612 mg/L).	25
Gráfica 3 Concentraciones de cromo (740 mg/L) iniciales	26
Gráfica 4 Concentraciones de cromo remociones % en concentraciones iniciales de (740 mg/L).	27
Gráfica 5 Concentraciones de cromo (1250 mg/L) iniciales	28
Gráfica 6 Concentraciones de cromo remociones % en concentraciones iniciales de (1250 mg/L).	28
Gráfica 7 Propuesta de Tratamiento escalonado	30
Gráfica 8 Remociones de DBO en cada uno de los tratamientos.	31
Gráfica 9 Remociones de DBO en cada uno de los tratamientos.	32
Gráfica 10 Ficha técnica tratamiento fitorremediación	38
Gráfica 11 Mapa ubicacion d las curtiembres de San Benito	41
Gráfica 12 porcentajes acerca de la opinión sobre la existencia de una PART a los dueños de las curtiembres.	43
Gráfica 13 porcentajes acerca de la opinión sobre la importancia de una PTAR a los dueños de las curtiembres.	44
Gráfica 14 porcentajes acerca de la opinión sobre la conformidad de esta PTAR según los dueños de las curtiembres.	45
Gráfica 15 Resultados en términos porcentuales acerca de la opinión de los dueños de las curtiembres	46

Capítulo I

1. Introducción e información general

Hoy en día, el mundo está enfrentando una crisis debido a la falta de agua dulce potable. Dicha escasez de agua es una consecuencia del rápido desarrollo de las industrias y la gran cantidad de agua residual de procesos industriales que se descargan a los ríos y sistemas de agua corriente. Estas aguas residuales suelen contener una gran variedad de contaminantes, muchos en forma de iones catiónicos y aniónicos, aceites y grasas, y demás residuos orgánicos con efectos nocivos sobre los ecosistemas. Generalmente, la remoción de estos contaminantes requiere de tecnologías efectivas, por lo que en las últimas décadas se han desarrollado técnicas de limpieza que tratan esta problemática.

El rápido crecimiento económico e industrial ha traído consigo serios problemas de contaminación ambiental, como la polución del aire, agua y suelo. Desde el punto de vista ambiental, el sector de la minería y las curtiembres siempre han sido catalogados como altamente contaminantes, donde sus procesos productivos generan compuestos químicos como metales pesados y desechos orgánicos que causan toxicidad e impactos ambientales negativos sobre los ecosistemas. Un agente químico es el cromo en la que su uso se ha extendido en la industria de las curtiembres, a causa de la alta calidad de cuero obtenido. Cuando las aguas residuales que contienen cromo (Cr) son vertidos al medio ambiente, se ocasiona un problema para la calidad de este último. La eliminación de cromo de las aguas residuales es obligatoria a fin de evitar la contaminación del agua de los ríos (Velarde et al, 2013) y cumplir con la normatividad vigente la resolución 631 de 2015.

El cromo (Cr) es uno de los metales pesados más nocivos para el medio ambiente. Los efectos de la presencia de este metal en el agua y suelos, así como las alternativas para su remediación, han sido tema de intensiva investigación en los últimos años. Bajo condiciones oxidantes, neutrales y alcalinas, el Cr (VI) está presente como cromato o dicromato, mientras que a condiciones reductoras, la conversión del Cr (VI) a Cr (III) podría tener lugar. La contaminación por agentes inorgánicos como el cromo trae graves

consecuencias tanto para el medio ambiente como para la salud de quienes lo manipulan, estudios realizados por (Padma y Dhara, 2008), donde encontraron que las aguas de las curtiembres llevan Cromo en estado de oxidación (VI) debido a la oxidación a Cr (III) contaminando el suelo y el agua.

Otro tipo de contaminación que es evidente es de contaminación orgánica a través de los residuos de grasas y pelambre entre otros subproductos residuales del proceso de elaboración de cueros, que afecta al ecosistema del río Tunjuelito causando el fenómeno de eutrofización, estos contaminantes también causan malos olores, taponamiento de tuberías debido a la acumulación de grasas etc.

Por otra parte, los ecosistemas naturales, tales como los humedales, son sistemas abundantes en nutrientes, agua y luz solar. Debido a esto es común encontrar la presencia de cierto tipo de plantas que han desarrollado adaptaciones morfológicas y bioquímicas permitiéndoles aprovechar al máximo las ventajas de estas condiciones de su entorno, las cuales han sido comúnmente denominadas “malezas acuáticas”. Entre estas malezas se encuentra la especie macrófita *Eichhornia crassipes*, conocida popularmente como el: “Jacinto de Agua”, o también “buchón de agua”, la cual tiene una amplia presencia en los cuerpos húmedos abiertos (Balasubramaniana et al 2012) (Anjanabha y Kumar 2010).

Se han construido diferentes sistemas de fitorremediación basados en la *Eichhornia Crassipes* arrojando resultados significativos en remociones de cromo (Carreño y Granada, 2016) pero no se ha implementado un modelo de costos y beneficios de este sistema de tratamiento por lo tanto no se ha verificado la viabilidad.

A través de esta planta se puede construir una tecnología de fitorremediación para descontaminar las aguas con presencia de metales pesados, entre ellos el cromo (Zimmels y Malkovskaja, 2005) (Módenes et al, 2011) (Kasturiarachchi, 2014). En los últimos años se ha demostrado que esta especie puede manipularse de manera sostenible en su ecosistema y ser usada en fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados (Villamagna y Murphy, 2010) (Brima y Harrys, 2014), también se han diseñado modelos de tratamiento para diferentes tipos de contaminantes con buenas eficiencias en remociones de aguas contaminadas (Gopal, 1987) (Epstein, 2012) (Komy et al, 2013) (Xiaosen et al, 2013).

La fitorremediación con esta planta representa una tecnología eficiente para el tratamiento de agua contaminada y además es un tratamiento de bajo costo, puesto que no requiere de infraestructura sofisticada (Gómez y Pinzón, 2012) (Vásquez; 2012) (Lenka et al; 1990). En general, es una tecnología barata, simple, sustentable, compatible con el ambiente. Se ha encontrado numerosos estudios a nivel mundial donde demuestran la capacidad de esta planta para remover nutrientes, metales pesados y grandes contenidos de materia orgánica (Xia y Xiangjuan, 2006) (Swain et al, 2014) (Sotolu, 2013). En los montajes de (Velarde et al, 2013); (Módenes et al, 2011); (Gandhimathi et al, 2013); (Kumar et al, 2012); (Chathuranga et al, 2013); (Epstein, 2012), realizaron montajes evaluando diferentes metales pesados como mercurio, aluminio entre otros , también (Sung et al, 2015); (Ndimele et al, 2014); (Bais et al, 2015); (Gebregiorgis et al, 2013), diseñaron esta tecnología para la remoción de nutrientes en humedales arrojando resultados significativos.

El enfoque principal de este proyecto es diseñar y desarrollar un modelo costo beneficio para tecnología nueva de tratamiento donde la Eichhornia pueda retener cromo con el fin de aportar una nueva tecnología para el sector de curtiembres.

1.1 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar e implementar un modelo costo-beneficio de un sistema de tratamiento con (Fitorremediación) de aguas residuales contaminadas con cromo en las curtiembres.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Caracterizar los diferentes componentes de la fitorremediación a través de la *Eichhornia crassipes*.
2. Evaluar la efectividad del sistema de fitorremediación a través de la *Eichhornia crassipes*.
3. Determinar los costos en la implementación del sistema de fitorremediación.
4. Determinar los beneficios en las remociones de fitorremediación a través de la *Eichhornia crassipes*.

Capítulo II

2. MARCO TEORICO

2.1 Costo-beneficio

El análisis de costo-beneficio es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto. Este método se aplica a obras sociales, proyectos colectivos o individuales, empresas privadas, planes de negocios, etc., prestando atención a la importancia y cuantificación de sus consecuencias sociales y/o económicas (Acosta et al, 2011).

2.2 *Eichhornia Crassipes*

Eichhornia crassipes, llamado comúnmente flor de bora, camalote, Jacinto de agua común, taropé o tarulla, es una planta acuática de la familia de las Pontederiaceae. Es originaria de las aguas dulces de las regiones cálidas de América del Sur, en las cuencas Amazónica, y del Plata. Es usada como planta medicinal, fertilizante de suelos y decorativa; por fuera de su nicho original se la considera especie invasora. Está incluido en la lista 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Área de origen: América del Sur, principalmente en las llanuras de Venezuela y Colombia (Lowe et al 2000).

Reyes (1985) estudio la reproducción de ésta planta, como tiene flores se reproducen sexualmente originando un fruto en forma de cápsula, puede multiplicarse por este procedimiento, pero su prodigiosa proliferación y la reproducción artificial más sencilla se efectúa por división de los estolones que los plantones emiten durante la estación favorable, originando, naturalmente, una tupida red vegetal capaz de colonizar en poco tiempo una

gran superficie acuática, formando un tapiz que puede impedir la navegación. Cuando se utiliza en acuicultura debe colocarse en estanques exteriores al aire libre durante el verano, de forma que se produzca rápidamente el ahijamiento.

2.3 Fitorremediación de aguas contaminadas con metales

Un sistema de tratamiento a través de la fitorremediación es una tendencia a nivel mundial debido a sus bajos costos en la implementación y sobre todo las eficiencias en la remoción de metales pesados. Un agente biológico importante son las algas, estas se encuentran fácilmente en cualquier sistema acuático y son importantes a la hora de remover metales pesados presentes en las aguas, ya que absorben estos metales incorporándolos en su estructura biológica. Tal es el caso de Veranes et al (2009), donde estudiaron las algas *Scenedesmus obliquus*, demostrando el poder de este microorganismo a la hora de remover el cromo. También Higuera et al (2008), utilizaron el alga parda *Sargassum* sp removiendo el 85 % de cromo.

En diferentes investigaciones también se ha encontrado que las plantas son agentes bioacumuladoras de metales pesados, como en el caso de las hojas de café en el estudio de Higuera et al (2008), establecieron una metodología práctica a la hora de retener metales pesados presentes en las aguas, diseñando e implementando un filtro rápido de arena el cual se compone de una capa de grava y unas capas trituradas de hojas de café que se situaron en 3 posiciones diferentes (inferior, media y superior), concluyendo que este sistema de tratamiento a escala piloto es eficiente removiendo el 90% de los metales pesados.

Las plantas acuáticas como la *Lemna minor* (Lenteja de agua), son especialmente utilizadas en sistemas de tratamiento no convencionales en la remoción de metales pesados, como en el estudio realizado por Arenas et al (2011), donde hizo una investigación a escala piloto, estableciendo un grupo control (agua destilada + mercurio) y un grupo Testigo (agua

destilada + *Lemna minor*) y un grupo Experimental (agua destilada + mercurio + *Lemna minor*) por un tiempo de retención de 22 días con remociones de más de 50%.

2.4 Fitorremediación con *Eichhornia Crassipes*

Pero de las plantas acuáticas encontradas en la literatura actual se debe hacer especial referencia a la *Eichhornia Crassipes* (Buchón de Agua), debido a su alta capacidad en la retención de metales pesados presentes en el agua y en la generación de energía (Anjanabha y Kumar, 2010); (Gopal, 1987). Esta planta acuática es invasora de ecosistemas acuáticos encontrándose en grandes cantidades en humedales, lagunas, ríos etc. (Epstein, 2012).

A pesar de que la *Eichhornia Crassipes* es considerada una planta acuática invasora y agresiva, también ha sido demostrada su factibilidad en la implementación de tratamiento de aguas industriales mostrando un porcentaje importante de remoción de los contaminantes en los sistemas para los cuales fue implementado, representando una alternativa eficiente en la fitorremediación de aguas residuales domiciliarias o efluentes industriales. Además, es un tratamiento de bajo costo, puesto que no requiere de infraestructura sofisticada, de fácil implementación sostenible, y compatible con el medio ambiente. Numerosos estudios pueden ser encontrados en la literatura donde se demuestra la capacidad de esta planta para remover cualquier cantidad de elementos orgánicos e inorgánicos, por ejemplo son conocidas sus bondades para remover elementos tóxicos, nitrógeno, fósforo, metales pesados, y concentración de otros contaminantes presentes en cuerpos de agua. Debido a que pueden crecer y propagarse en aguas altamente contaminados se ha demostrado que este puede ser usado en la recuperación de cuerpos de agua que presentan altos niveles de plomo y mercurio. También ha sido comprobada la impresionante capacidad de sus raíces para remover arseniato (sal o éster del ácido arsénico) de sistemas de agua para consumo doméstico contaminados con arsénico (Brima y Haris 2014).

En la remoción de metales pesados se ha demostrado su alta eficiencia, como en el caso del estudio de Vásquez (2012), realizó una investigación con tintes industriales, donde se utilizaron tres recipientes con capacidad para 20 litros cada uno, inoculando la *Eichhornia Crassipes* (Buchón de Agua), durante 8 días obteniendo remociones por encima 90%, concluyendo que esta planta acuática es altamente eficiente a la hora de remover metales pesados.

También Velarde et al, (2013), realizó una simulación de un efluente de una curtiembre con $K_2Cr_2O_7$ a concentraciones de 10ppm ,25 ppm y 50 ppm por un periodo de 9 semanas en un sistema hidropónico libre con la *Eichhornia Crassipes* (Buchón de Agua), obteniendo unas remociones por encima del 80%. En la siguiente foto 6 se muestra el montaje realizado. En la siguiente foto 1 se muestra el montaje realizado.

Foto 1 Experimento realizado por (velarde et al 2013)



Fuente (Velarde et al 2013).

Uno de los primeros estudios realizados con Buchón de agua Lenka et al (1990), donde evaluaron estas plantas con concentraciones de mercurio acuático. Después de determinado tiempo, se muestrearon las raíces del buchón analizando la bioconcentración de mercurio a través de espectrofotometría, los resultados indicaron que la bioconcentración de mercurio en el tejido de la raíz era tanto tiempo y dependiente de la concentración, proporcionando pruebas de que el buchón de agua es un buen absorbente de mercurio acuático.

2.5 Tamaño de la muestra

La tendencia de los investigadores de la comunicación es querer aplicar una fórmula que les indique cuál será el número de personas a encuestar o a entrevistar. Lo que se hará en esta parte es ver algunas consideraciones para que el investigador tome en cuenta:

Según Fisher citado por Pineda et al, el tamaño de la muestra debe definirse partiendo de dos criterios:

1) De los recursos disponibles y de los requerimientos que tenga el análisis de la investigación. Por tanto, una recomendación es tomar la muestra mayor posible, mientras más grande y representativa sea la muestra, menor será el error de la muestra.

(Cfr.:1994,112)

2) Otro aspecto a considerar es la lógica que tiene el investigador para seleccionar la muestra "por ejemplo si se tiene una población de 100 individuos habrá que tomar por lo menos el 30% para no tener menos de 30 casos, que es lo mínimo recomendado para no caer en la categoría de muestra pequeña. Pero si la población fuere 50.000 individuos una muestra del 30 % representará 15.000; 10% serán 5.000 y el 1% dará una muestra de 500. En este caso es evidente que una muestra de 1% o menos será la adecuada para cualquier tipo de análisis que se debe realizar". (PINEDA et al 1994:112)

Por ejemplo, si se usa un margen de error del 5%, este margen representa el grado de precisión que se tiene en la generalización. Quiere decir que los resultados obtenidos en

la muestra van a tener una precisión de $\pm 5\%$. Si al procesar las encuestas se advierte que el 65% de las personas encuestadas escucha una determinada radio, ese dato en la generalización se puede interpretar que de toda la población, puede ser que un 60% o un 70% de las personas escuchan esa emisora. A esa posibilidad de que la afirmación sea correcta se llama confiabilidad. Y la probabilidad es que cualquier elemento de la población tenga la misma posibilidad de ser elegido para integrar la muestra que se elaborara. (CFR.:MATA et al,1997)

La fórmula es:

$$\text{Ecuación 1. } m = \frac{N}{(N-1) \cdot K^2 + 1}$$

Siendo,

m= muestra

N= población

K= margen de error (puede ser 15%, 10%, 5%) para la fórmula, el porcentaje a usar debe ser expresado en decimales.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 sistemas de tratamiento de aguas con diferentes agentes biológicos

En esta sección se muestran diferentes tratamientos con agentes biológicos.

Un sistema de tratamiento a través de la biorremediación es una tendencia a nivel mundial, debido a sus bajos costos en la implementación y sobre todo a la capacidad de las algas como agente biológico importante, las cuales se encuentran fácilmente en cualquier sistema acuático y son eficientes a la hora de remover metales pesados presentes en las aguas, ya que absorben estos metales incorporándolos en su estructura biológica. Por ejemplo, Veranes et al. (2009) estudiaron las algas *Scenedesmus obliquus*, y demostraron el poder

de este microorganismo a la hora de remover el cromo. También Higuera et al. (2005) utilizaron el alga parda *Sargassum* sp y removieron el 85 % de cromo.

Sari y Tusen (2008) encontraron la cinética y el crecimiento de un cultivo de algas para el tratamiento de efluentes cargados de cromo provenientes de curtiembres.

Han et al. (2008) determinaron el grado de remoción de las algas *Chlorella miniata* a escala piloto. Pellón et al. (2011) diseñaron un biorreactor para la remoción de metales pesados y utilizaron diferentes tipos de algas. Las algas son microorganismos altamente eficientes a la hora de remover metales pesados, pero también las bacterias son capaces de ejercer esta labor importante en el tratamiento de las aguas industriales.

Rodríguez (2013), quien estudió la cepa de *Streptococcus* sp y *Kingella kingae*, obtuvo resultados que prueban la factibilidad de utilizar tecnología innovadora, barata y eficiente, basada en herramientas biotecnológicas, para depurar aguas residuales industriales altamente contaminadas en cromo y en otros metales pesados.

Las plantas acuáticas, como la *Lemna minor* (lenteja de agua), son especialmente utilizadas en sistemas de tratamiento no convencionales en la remoción de metales pesados, hecho que se documentó en el estudio de Arenas et al. (2011), donde se hizo una investigación a escala piloto, estableciendo un grupo control (agua destilada + mercurio) y un grupo testigo (agua destilada + *Lemna minor*) y un grupo experimental (agua destilada + mercurio + *Lemna minor*) por un tiempo de retención de 22 días con remociones de más de 50 %.

Pero de las plantas acuáticas encontradas en la literatura actual se debe hacer especial referencia a la *Eichhornia crassipes* (buchón de agua), debido a su alta capacidad para la retención de metales pesados presentes en el agua y para la generación de energía (Gopal et al., 1987). Esta planta acuática es invasora de ecosistemas acuáticos y se encuentra en grandes cantidades en humedales, lagunas, ríos, etc. (Epstein, 1998; Gómez & Pinzón, 2012).

En la remoción de metales pesados se ha demostrado su alta eficiencia, como en el caso del estudio de Vázquez (2010), en el cual se hizo una investigación con tintes industriales, donde se utilizaron tres recipientes con capacidad para 20 litros cada uno, y se inoculó la *Eichhornia crassipes* (buchón de agua), durante ocho días, obteniendo remociones por encima del 90%. Vázquez concluyó que esta planta acuática es altamente eficiente a la hora de remover metales pesados. También Velarde et al (2013) realizó una simulación de un efluente de una curtiembre con $K_2Cr_2O_7$ a concentraciones de 10ppm, 25 ppm y 50 ppm por un período de nueve semanas en un sistema hidropónico libre con la *Eichhornia crassipes* (buchón de agua), obteniendo unas remociones por encima del 80 %.

Uno de los primeros estudios realizados con buchón de agua fue el desarrollado por Lenka et al. (1990), quienes evaluaron estas plantas con concentraciones de mercurio acuático. Después de determinado tiempo, se muestrearon las raíces del buchón analizando la bioconcentración de mercurio a través de espectrofotometría, y los resultados indicaron que la bioconcentración de mercurio en el tejido de la raíz era tanto tiempo y dependiente de la concentración, hecho que proporcionó pruebas de que el buchón de agua es un buen absorbente de mercurio acuático.

Atehortúa y Gartner (2003) tamizaron la *Eichhornia crassipes* (buchón de agua) para construir un filtro biológico para el tratamiento de aguas industriales contaminadas con cromo y plomo, el tiempo de retención fue de 6 horas y se removió un 60 % de estos metales. También, Chisutia y Mmari (2014); Xiaosen et al. (2013); tamizaron la *Eichhornia crassipes* (buchón de agua) para tratar efluentes de industrias, arrojando eficiencias por encima del 90 %.

El buchón de agua, como se ha podido demostrar, es un agente interesante a la hora de remover metales, pero al ser una planta acuática muy abundante en muchos ecosistemas y su alta capacidad reproductora, también se ha investigado sobre su alta producción energética.

3.2 estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio

Los análisis de tipo económico en la implementación de políticas y selección de medidas en el ámbito de la gestión de los recursos hídricos están adquiriendo un interés creciente (Hernández et al 2010).

La economía proporciona herramientas, información e instrumentos para la racionalización del proceso de toma de decisiones en el marco de la planificación hidrológica. Así, el Análisis Coste Beneficio (ACB) se presenta como un método ampliamente aceptado y usado para evaluar la viabilidad económica de proyectos y actuaciones.

El objetivo principal que persigue el tratamiento de aguas residuales es la obtención de un vertido que no provoque graves impactos negativos sobre el medio ambiente. Por ello, en la actualidad constituye una de las principales medidas adoptadas para mejorar la calidad del medio receptor.

Es evidente que la realización de ACB, requiere que los beneficios y costes estén expresados en las mismas unidades, sin embargo cuando se analiza ambientalmente un proyecto, los beneficios generalmente se miden en diferentes unidades físicas, mientras que los costes se miden en unidades monetarias; de ahí que el ACB requiere de la valoración monetaria como método de homogeneización de las unidades de medida.

En este sentido, desde la teoría económica se han desarrollado diversas metodologías para la cuantificación e internalización de las externalidades ambientales derivadas de los proyectos de inversión. En el ámbito de los recursos hídricos, la literatura especializada recoge que en la mayoría de las aplicaciones, la cuantificación de dichas externalidades se ha realizado mediante el método de valoración contingente (MVC).

El objetivo del MVC es cuantificar en términos monetarios el incremento o disminución de bienestar que se deriva de una actuación. Para ello se simula un escenario en el que se

pregunta a los individuos sobre su disposición a pagar, o a ser compensado, por un incremento o disminución en la calidad o en la cantidad de un recurso ambiental.

Si en el contexto de la gestión de aguas residuales consideramos su tratamiento como un proceso productivo en el que se obtiene un output deseable (agua limpia) junto con una serie de outputs no deseables (sólidos en suspensión, fósforo, nitrógeno, etc.) se podría plantear el cálculo de los precios sombra para estos últimos, lo que sería equivalente al valor del daño ambiental evitado o beneficio ambiental derivado del proceso de tratamiento. En otras palabras, se obtendría el valor de las externalidades positivas asociadas a la depuración de aguas residuales, es decir, mediante el tratamiento se está evitando el vertido de sustancias contaminantes que tendrían un evidente efecto ambiental negativo.

3.3 La valoración contingente: una alternativa para determinar la viabilidad financiera de proyectos de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales de países tropicales

Al finalizar la década internacional del agua (1980-1989) especialistas de todo el mundo observaron que una gran cantidad de las inversiones realizadas no estaban generando beneficios para los cuales habían sido destinadas, dado que muchos de los sistemas construidos no estaban operando o se encontraban inservibles (Wash, 1990).

El buen funcionamiento y confiabilidad de los sistemas convencionales, requiere un flujo de fondos permanente para cubrir los costos de operación y mantenimiento y la administración de sus instalaciones. La insuficiencia financiera es un factor esencial para explicar el pobre mantenimiento de los sistemas y es siempre citado como una razón de las fallas de los proyectos. La recuperación de costos contribuye a la sostenibilidad no solo a través del incremento de los recursos disponibles para la operación de los sistemas, sino también por establecer relaciones de valoración del uso de los recursos en el largo plazo (Pérez, 1998).

Mediante la aplicación de la metodología de valoración contingente, se puede determinar con mayor acierto la viabilidad financiera ex ante de un proyecto de tratamiento de aguas residuales, con base en la tecnología de lagunas de estabilización más una laguna complementaria de peces, y en tal sentido promover un mejor nivel de recuperación de costos y la sostenibilidad de los sistemas a construir.

Los métodos de valoración ambiental se clasifican en métodos directos, métodos indirectos y métodos de valoración contingente. El fundamento básico de los primeros es la utilización de precios directos de mercado para determinar el valor económico de los recursos naturales y ambientales. Estos métodos se basan en el tradicional análisis de costo beneficio y se subdividen en una tendencia que mide los costos en que hay que incurrir para prevenir o revertir el problema ambiental, y otra que usa los cambios en los precios y las productividades provocadas por un problema ambiental, y otra que usa los cambios en los precios y las productividades provocadas por un problema ambiental. Los segundos, buscan valorar los bienes ambientales a través de formas indirectas, ya sea asociarles el valor asignado a bienes sustitutos que se transan en el mercado o a través del valor de los gastos potenciales necesarios para reemplazar parcial o totalmente los beneficios derivados de estos bienes ambientales. Finalmente, el método de valoración contingente es el más conocido y aplicado de los métodos, y busca sencillamente que la persona revele directamente sus preferencias por el bien ambiental, a través de la disponibilidad a pagar por el recurso ambiental usando como herramienta encuestas y cuestionarios (Agüero, 1996).

4. MARCO LEGAL

El 22 de diciembre de 1994 se aprueba en una decisión del Consejo en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE una lista de residuos peligrosos, se considera que

estos residuos presentan una o más de las características del Anexo III de la Directiva 91/689/CEE. En la lista de residuos aparece en el código CER 0401, los residuos de la industria de la piel (Tabla1).

Tabla 1 Lista de residuos en la industria de la piel

04	RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS DEL CUERO, DE LA PIEL Y TEXTIL
04 01	Residuos de las industrias del cuero y de la piel
04 01 01	Carnazas y serrajes de encalado
04 01 02	Residuos de encalado
04 01 03*	Residuos de desengrasado que contienen disolventes sin fase líquida
04 01 04	Residuos líquidos de curtición que contienen cromo
04 01 05	Residuos líquidos de curtición que no contienen cromo
04 01 06	Lodos, en particular los procedentes del tratamiento <i>in situ</i> de efluentes, que contienen cromo
04 01 07	Lodos, en particular los procedentes del tratamiento <i>in situ</i> de efluentes, que no contienen cromo
▼C1	
04 01 08	Residuos de piel curtida (serrajes, rebajaduras, recortes y polvo de esmerilado) que contienen cromo
▼M1	
04 01 09	Residuos de confección y acabado
04 01 99	Residuos no especificados en otra categoría

Fuentes: (Secretaría general de la alcaldía mayor de Bogotá, 2005) y (Legislación Europea, 2010).

Capítulo III

5. METODOLOGÍA

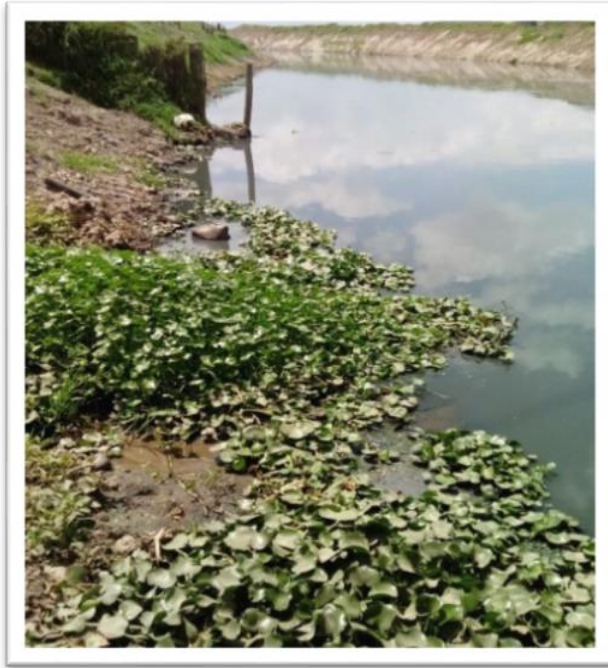
Para el cumplimiento del objetivo general se desarrollará una investigación experimental, tomando como referencia diferentes investigaciones institucionales con la fitorremediación de las aguas contaminadas de las curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*, principalmente la realizada por el ingeniero y director de tesis Uriel Fernando Carreño Sayago. En el primer objetivo se caracterizarán los diferentes componentes de un sistema de fitorremediación y posteriormente se evaluará este sistema para el tratamiento de Cromo y DBO. En el tercer objetivo se determinará los costos de aplicación de este sistema en una curtiembre y por último se determinará el beneficio de esta implementación.

5.1 Caracterizar los diferentes componentes de la fitorremediación a través de la *Eichhornia crassipes*.

5.1.1 Asilamiento de la *Eichhornia crassipes* de diferentes humedales

La *Eichhornia crassipes* se identificó en las aguas contaminadas a las afueras del municipio de Mosquera, Cundinamarca. Ubicación en coordenadas: 4.682995, -74.256673. En las siguientes dos fotos 2 y 3 se muestra la abundancia de esta planta en el sector y lo robusta que es en el humedal.

Foto 2 Humedal.



Fuente: (Proyecto de investigación Fitorremediación Universidad Libertadores.)

Foto 3 Aislando la *Echhornia*



Fuente: (Proyecto de investigación Fitorremediación Universidad Libertadores.)

Como se puede apreciar en estas dos fotos, estas aguas donde se encontraba la *Eichhornia Crassipes* evidenciaban malos olores debido a los vertimientos de aguas residuales sobre éste humedal.

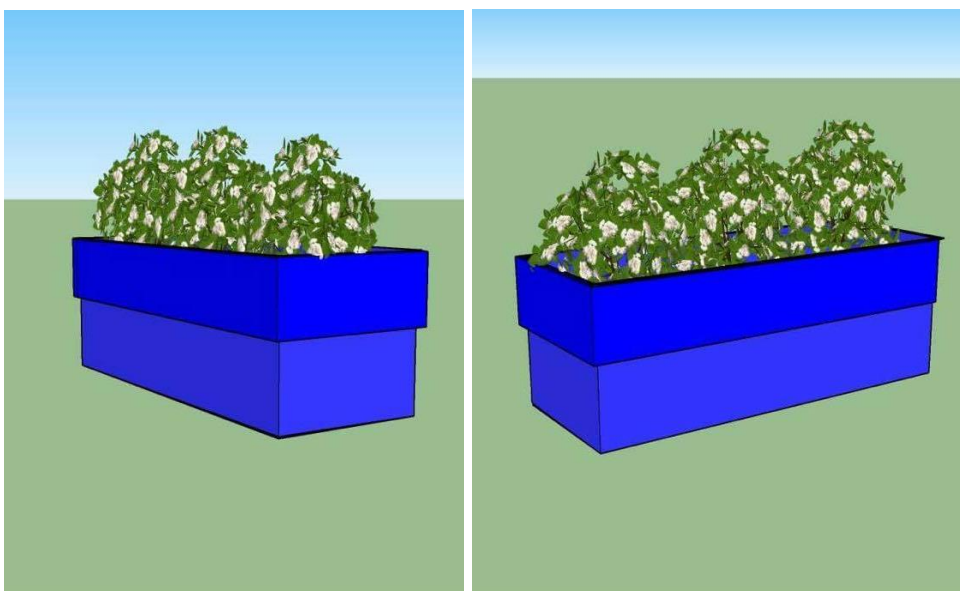
Con base a lo anterior se realizó una prueba piloto para modelar el sistema de tratamiento deseado esta consistió en adaptar un recipiente de plástico resistente con las siguientes dimensiones representadas en la siguiente figura 1

Figura 1. Diseño del recipiente.



En la figura 2 se puede apreciar el diseño virtual del sistema con la planta implementada.

Figura 2 diseño del sistema de tratamiento



Fuente. Propia

Como se pudo observar en la figura 2 las dimensiones de este sistema de tratamiento es de largo 40 cm, de alto 15 cm y de ancho 15 cm, donde el experimento conto con 10 Litros de agua. Este diseño es a escala piloto de laboratorio y tuvo 180 gramos de *Eichhornia Crassipes*, que es el equivalente a dos plantas. A continuación en la foto 3, se muestran diferentes sistemas de tratamiento a escala piloto de laboratorio.

Foto 4 Experimentación



Fuente: (Proyecto de investigación Fitorremediación Universidad Libertadores.)

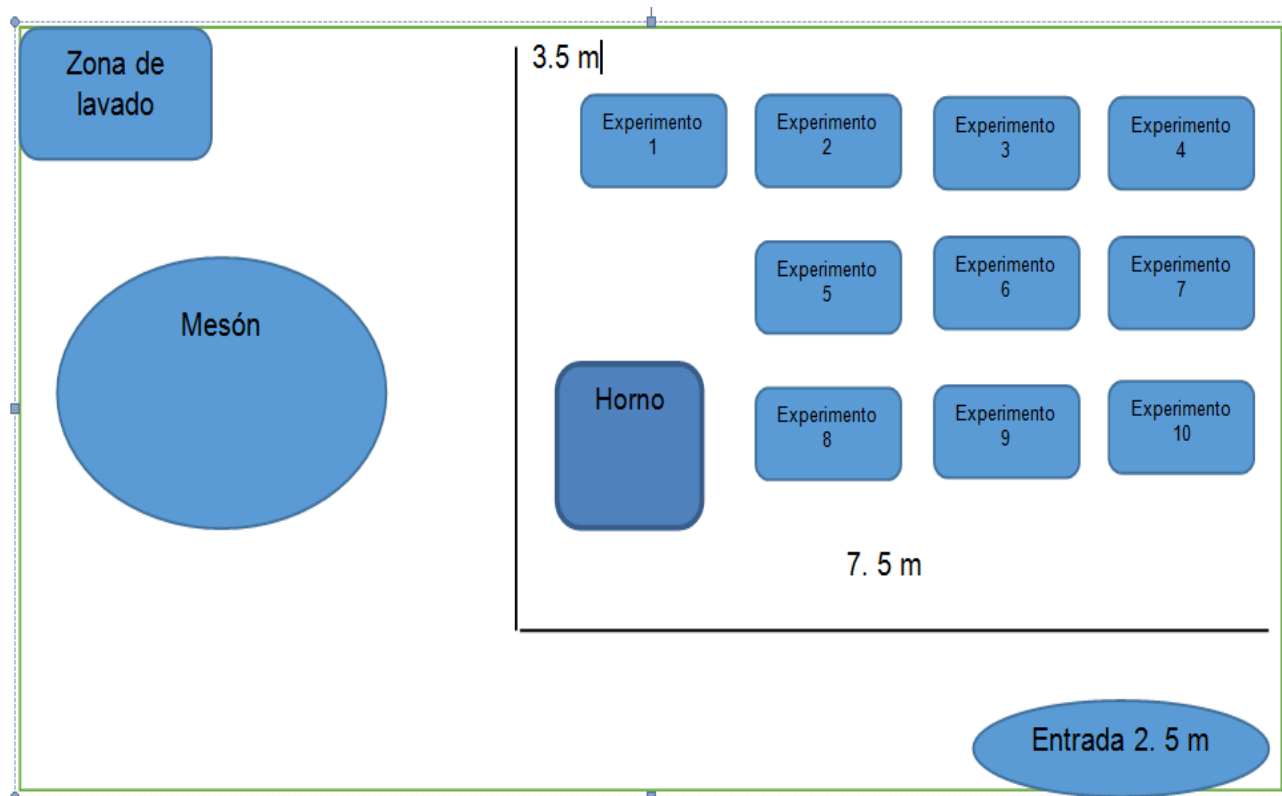
Componentes:

Eichhornia crassipes, agua de curtiembre (contaminada con cromo), agua destilada, recipiente de plástico resistente, permiso individual de recolección. Se determinó en esta investigación que la proporción adecuada de planta/agua contaminada es 10 Litros por cada dos plantas.

5.2 Evaluar la efectividad del sistema de fitorremediación a través de la *Eichhornia crassipes*.

Se llevó a los laboratorios de la Fundación Universitaria los Liberadores, sede Bogotá para el montaje de los experimentos. En la siguiente figura 2 se muestra el montaje de los experimentos en el laboratorio.

Figura 2 Laboratorio donde se realizó el montaje.



Fuente: (Proyecto de investigación Fitorremediación Universidad Libertadores.)

El diseño propuesto consistió en montar diez diferentes sistemas de tratamiento, 3 con un 20 % de agua de curtiembres, llamadas 2a, 2b y 2c, 3 con un 40% de agua de curtiembres llamadas 4a, 4b y 4c y 3 con un 60 % de aguas de curtiembres llamadas 6a, 6b y 6c. El restante se complementó con agua destilada. Se realizó un montaje de un blanco con agua

del humedal. Las aguas de muestra de las curtiembres se recogieron en la empresa curtipiel en el barrio san Benito al sur de Bogotá. En la siguiente tabla 2 se muestra el resumen de los montajes.

Tabla 2 Porcentajes de aguas destiladas y agua de curtiembre

	Agua de curtiembre (%)	Agua destilada (%)
Tratamiento 2a 2b y 2c.	20	80
Tratamiento 4a 4b y 4c.	40	60
Tratamiento 6a 6b y 6c.	60	40
Blanco 100 % agua del humedal original	0	0

Fuente: (Proyecto de investigación Fitorremediación Universidad Libertadores.)

La evaluación propuesta de este sistema de tratamiento duró aproximadamente 1 mes. A continuación se presenta en la tabla 3, las muestras necesarias para evaluar este sistema de tratamiento.

Tabla 3 Muestreo de calidad del agua

	DBO	Cromo	PH y Temperatura
Tratamiento 2a 2b y 2c.	Antes y al final	Cada dos días	Diario
Tratamiento 4a 4b y 4c.	Antes, Durante y terminado	Cada dos días	Diario
Tratamiento 6a 6b y 6c.	Antes, Durante y terminado	Cada dos días	Diario
Blanco			Diario

Fuente: (Proyecto de investigación Fitorremediación Universidad Libertadores.)

Las muestras se tomaron al inicio en la que fueron pH, Cromo y DBO. Durante el experimento se midió cada dos días el grado de concentración de cromo en el agua. A diario se medida el pH y al final del experimento se midió la DBO. También se midió en la plantas el grado de acumulación de cromo.

5.2.1 análisis de resultados

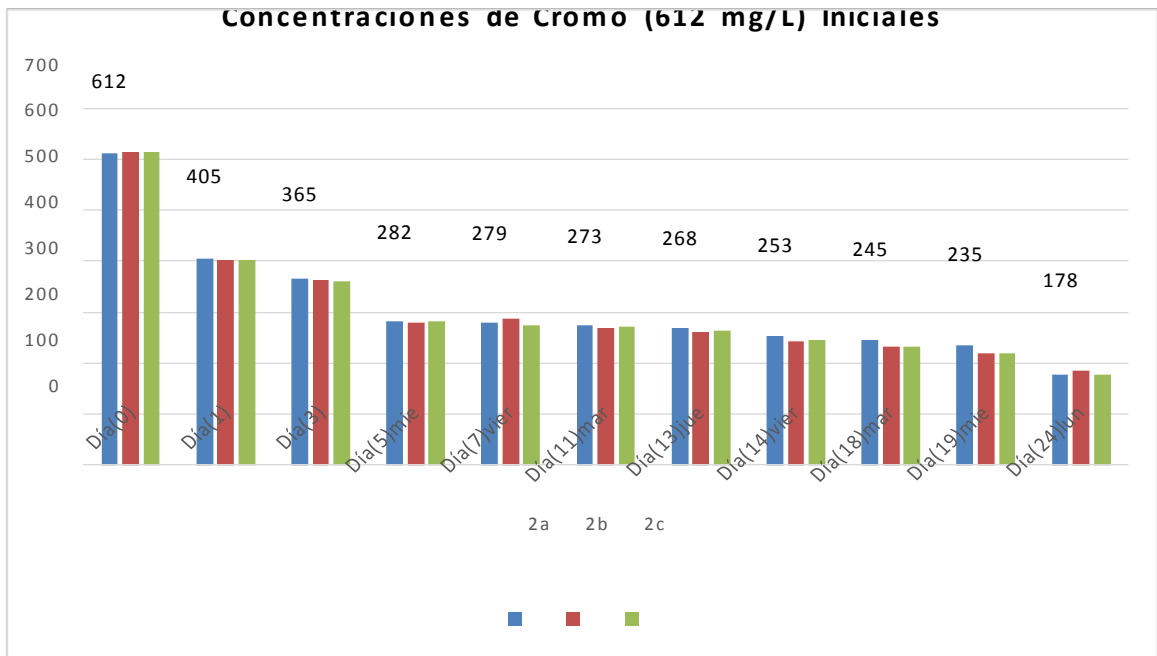
La evaluación de estos sistemas de tratamiento de fitorremediación se realizó determinando los m/L de cromo cada dos días en el agua, y la DBO antes y después del tratamiento. También se comprobó la cantidad de cromo encontrado en diferentes tejidos vegetales de la Eichhornia, especialmente del tallo y raíz. Durante la representación de los resultados se compararon con diferentes investigaciones.

5.2.1.1 Evaluación del cromo

Las concentraciones tan altas de cromo como en esta investigación no se han visto en la literatura. Para las evaluaciones de este sistema de tratamiento se midió las concentraciones en el agua de cromo en mg/L al inicio y posteriormente cada dos días.

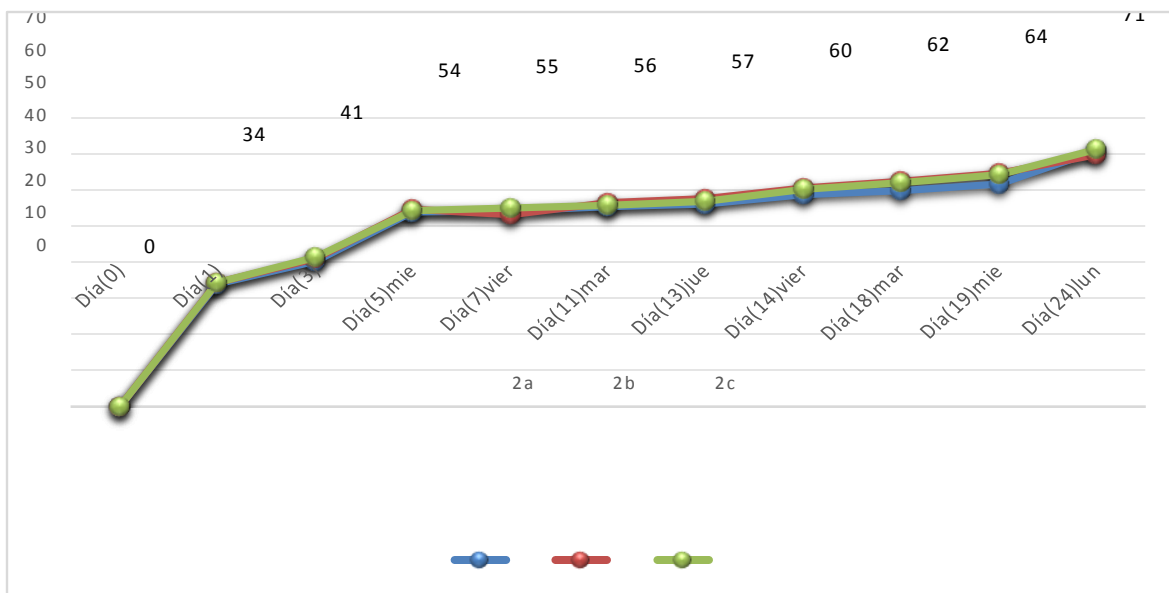
Se puede apreciar en la gráfica 1 donde las concentraciones iniciales estaban alrededor de los 612 mg/L de cromo, y en la gráfica 2 se puede apreciar que tan solo dos días después hubo una remoción de 33%. Las remociones como se pueden apreciar hay una continua disminución, estabilizándose después de 24 días de tratamiento.

Gráfica 1 Concentraciones de cromo (612 mg/L) iniciales



Fuente: (Proyecto de investigación Fitorremediación Universidad Libertadores.)

Gráfica 2 Concentraciones de cromo remociones % en concentraciones iniciales de (612 mg/L).

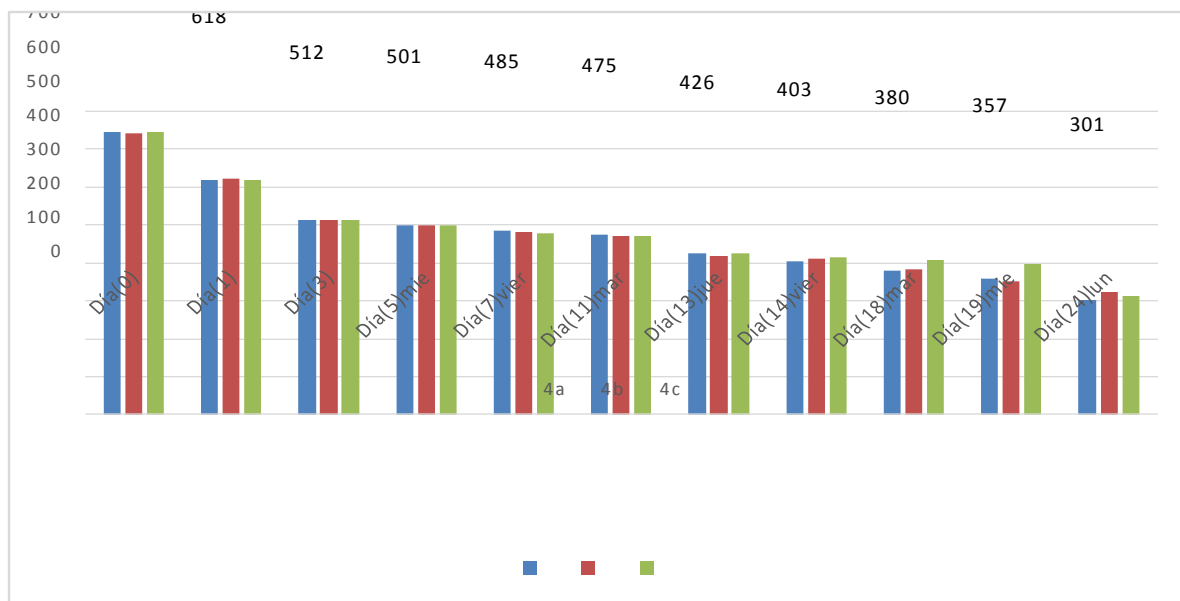


Fuente: (Proyecto de investigación Fitorremediación Universidad Libertadores.)

Como lo muestran las gráficas 1 y 2 hubo unas remociones de 34% iniciales en el día 1, después se estabilizo a varios días sobre el 50% siendo al final unas remociones de más del 70% en estos tratamientos del 20% de aguas de curtiembres con 80% de agua destilada. Las tres pruebas arrojaron un comportamiento similar durante todo el proceso y se obtuvieron remociones por encima del 70%.

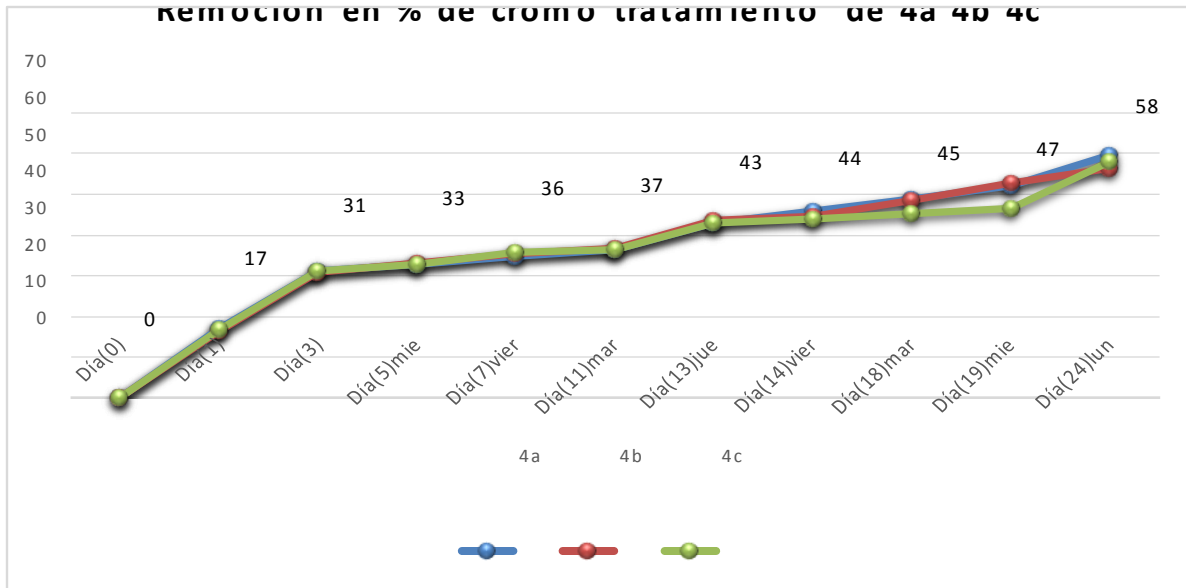
Se puede apreciar en la siguiente gráfica 3 que las concentraciones iniciales de los tratamientos de 40% estaban alrededor de los 740 mg/L de cromo, y en la gráfica 4 se puede apreciar que tan solo dos días después hubo una remoción de 18%. Las remociones como se pueden apreciar en estas dos gráficas muestran una continua disminución de este metal en el agua, estabilizándose después de 24 días de tratamiento. Las tres pruebas arrojaron un comportamiento similar durante todo el proceso y se obtuvieron remociones por encima del 60%.

Gráfica 3 Concentraciones de cromo (740 mg/L) iniciales



Fuente: (Proyecto de investigación Fitorremediación Universidad Libertadores.)

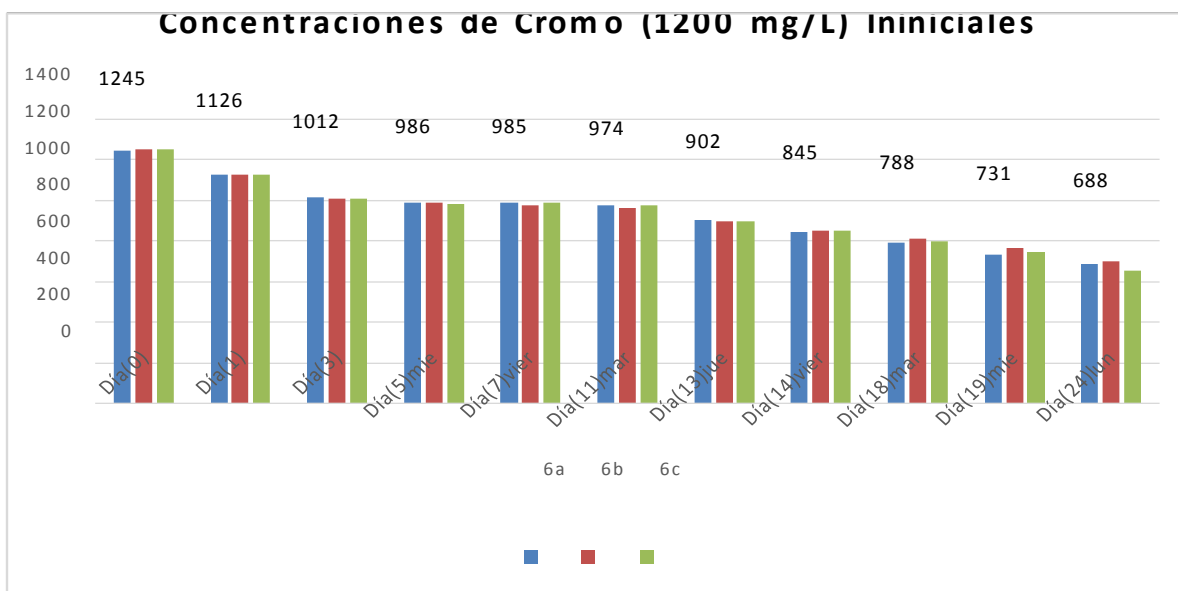
Gráfica 4 Concentraciones de cromo remociones % en concentraciones iniciales de (740 mg/L).



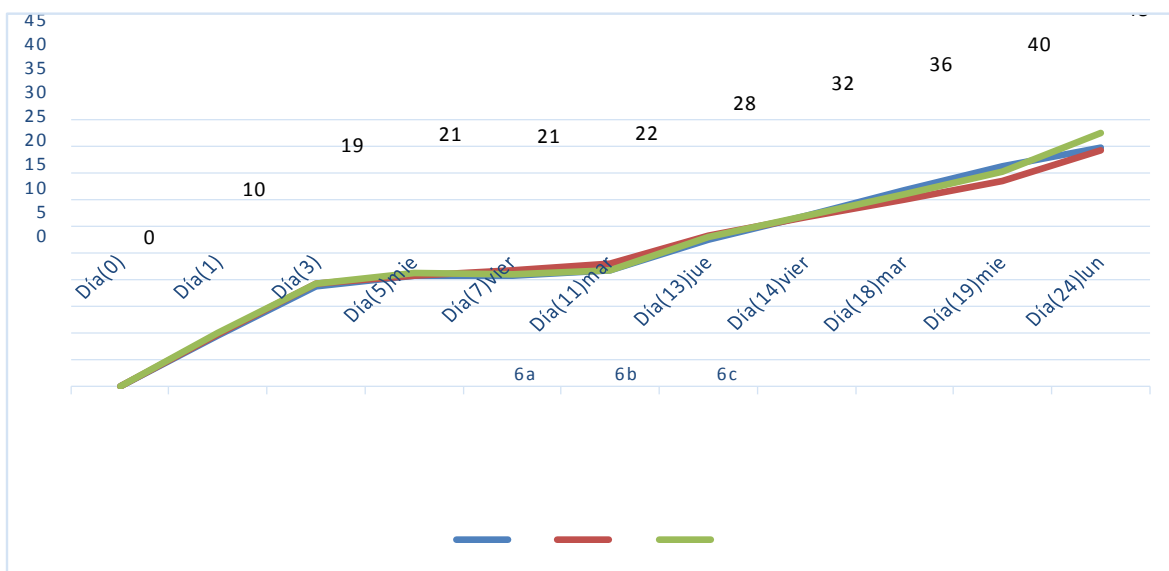
A diferencia del tratamiento de 20%, estos tratamientos con 40% de aguas de curtiembres, a la planta le costó adaptarse y después del 3 día se obtuvieron remociones de más del 30%, estabilizándose los días siguientes. Al final obtuvo unas remociones del 58%.

Se puede apreciar en la siguiente gráfica 5 que las concentraciones iniciales de los tratamientos de 60% estaban alrededor de los 1200 mg/L de cromo, y en la gráfica 6 se puede apreciar que tan solo dos días después hubo una remoción de 10%.

Gráfica 5 Concentraciones de cromo (1250 mg/L) iniciales



Gráfica 6 Concentraciones de cromo remociones % en concentraciones iniciales de (1250 mg/L).



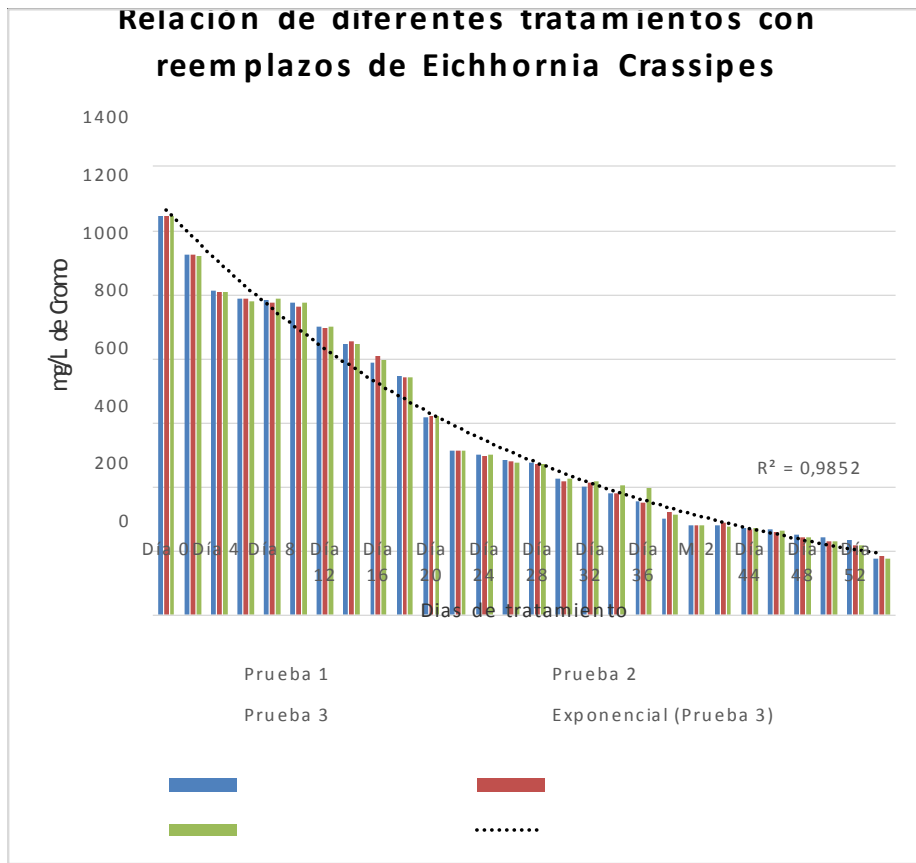
Las remociones como se pueden apreciar en estas dos gráficas muestran una continua disminución de este metal, estabilizándose después de 24 días de tratamiento. Las tres pruebas arrojaron un comportamiento similar durante todo el proceso y se obtuvieron remociones por encima del 45%. En este tratamiento a la planta le costó mucho adaptarse a diferencia de los demás tratamientos debido a la alta concentración de cromo que tenía el agua. Después de este tratamiento la planta quedó saturada de cromo y terminó con unas concentraciones de 688 mg/L de este metal.

5.2.2 Propuesta de Tratamiento Escalonado de *Eichhornia Crassipes*

En los tratamientos anteriores se pudo apreciar que las concentraciones de cromo variaron de un experimento a otro. De esta manera se propone un tratamiento escalonado debido a que cuando se sature la *Eichhornia Crassipes* de Cromo, se cambie por otra planta nueva. Con esta propuesta se aumenta la efectividad del tratamiento debido a las altas concentraciones de cromo que tienen estas curtiembres; se tendrían remociones de más del 90% en 55 días. Según la gráfica 8, el primer cambio tendría que hacerse el día 18, cuando la planta presente una saturación elevada de cromo en su estructura vegetal. Hasta el día 18 se presentaron remociones por encima del 60%.

Después se procede a cambiar de planta por una nueva en la misma agua ya con una concentración menor de cromo, presentando valores en disminución y se procederá a cambiar de planta cuando sea necesario. Para el día 39 se cambiará de planta nuevamente debido al grado de saturación de cromo de la segunda planta de *Eichhornia crassipes*.

Gráfica 7 Propuesta de Tratamiento escalonado

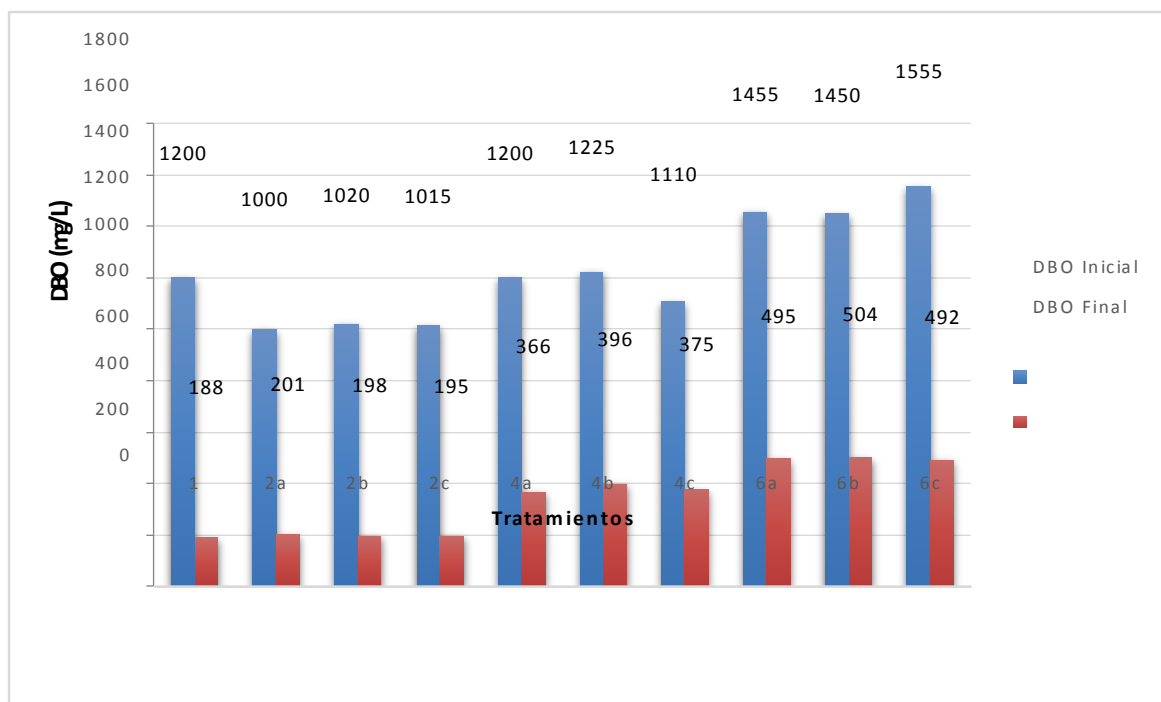


Estos datos se establecieron con los tratamientos de 60% de aguas de curtiembres donde tenían concentraciones por encima de 1200 mg/L de Cromo, después de su tratamiento vendría el primer cambio de *Eichhornia Crassipes*, con los datos de las concentraciones de 40% se tendrán hasta el día 38 y con los datos de las concentraciones de 20% se llegaría al final del proceso.

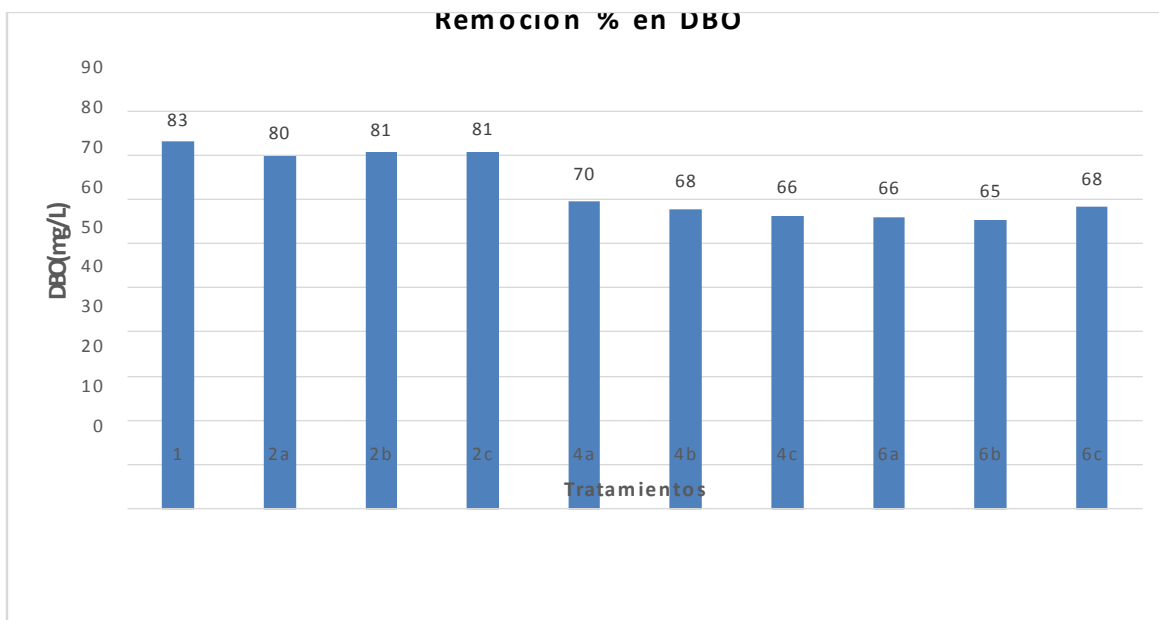
5.2.3 Pruebas de remoción de DBO

Se realizaron dos monitoreos de calidad del agua con la DBO de cada uno de los tratamientos. Las pruebas eran en el día 0 y terminado el proyecto. En la gráfica 8 se muestra cada uno de estos con las concentraciones iniciales y finales de DBO en mg/L. En la gráfica 9 se muestra las remociones en porcentaje.

Gráfica 8 Remociones de DBO en cada uno de los tratamientos.



Gráfica 9 Remociones de DBO en cada uno de los tratamientos.



Observando las gráficas 8 y 9, se puede concluir que tanto los tratamientos con concentraciones de 20 % y el blanco que es el 1, tiene unas remociones importantes de DBO por encima del 80%. Los tratamientos de 40% y 60% de aguas de curtiembres obtuvieron unas remociones del 66 % de DBO. Los aportes de nutrientes a las plantas y la oxigenación que ellas brindan al agua contribuyen a la disminución de la DBO. En la construcción de humedales la DBO es fundamental para las remociones de nutrientes.

Finalmente, a continuación en las siguientes fotos se mostrará la evolución del tratamiento en el transcurso de los días, se puede notar como fue cambiando el aspecto tanto del agua como el de la planta.

Foto 5 Experimento del tratamiento en sus primeros días



Foto 6 Experimento del tratamiento en días intermedios



Foto 7 Experimento del tratamiento en sus últimos días



Foto 8 Frascos con las aguas tratadas a diferentes días



5.3 Determinar los costos en la implementación del sistema de fitorremediación

Para la determinación de los costos se calculó la totalidad de estos teniendo en cuenta cada componente necesario para su implementación, desde los permisos que en el apéndice veremos especificados hasta, los detalles ínfimos que complementan esta ejecución. Se identificaron las cantidades requeridas de cada componente y se realizó una cotización de cada factor que interviene en dicha implementación tanto directa como indirectamente como lo veremos en la tablas 4 y 5.

Tabla 4 Costos legales y de viáticos

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Licencia ambiental	1	\$1.900.000	\$1.900.000
Permiso de vertimientos	1	\$250.000	\$250.000
Transporte	16	\$4.800	\$76.800
Acarreo plantas	1	\$80.000	\$80.000
TOTAL			\$2.306.800

Fuente. Cotizaciones propias.

Como se puede ver en la tabla 4, la suma de los costos legales y de viáticos que interfieren en el sistema es de \$3.638.400.

A continuación en la tabla 5 se observará un desglose de cada implemento utilizado, su cantidad necesaria y sus respectivos costos.

Tabla 5 Costos de materiales.

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Recipiente de plastico (50L)	1	unidades	\$250.000	\$250.000
Guantes	2	pares	\$12.000	\$24.000
Overol enterizo	2	unidades	\$50.200	\$100.400
Bolsas	10	unidades	\$500	\$5.000
Botas pantaneras	2	pares	\$33.900	\$67.800
Probetas	5	unidades	\$18.180	\$90.900
Tapabocas	2	unidades	\$24.500	\$49.000
TOTAL				\$587.100

Fuente. Cotizaciones propias.

Al analizar la tabla 5 se logra determinar que el costo total de los materiales es de \$587.100.

5.3.1 COSTO MINIMO:

Para determinar el costo mínimo se toma en cuenta la información de las tablas 4 y 5, ya que allí es donde están tabulados todos los gastos básicos y necesarios para ejecutar el sistema de fitorremediación. Lo de da un total de \$4.225.500.

5.3.2 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN:

En el costo de la implementación se toma el costo del personal de apoyo para ejecutar este sistema en cada curtiembre y el costo de la asesoría e información brindada por parte del profesional. Estos datos se detallan en la tabla 6.

Tabla 6 Costos de implementación.

CONCEPTO	VALOR
Operario	\$50.000
Profesional	\$200.000
TOTAL	\$250.000

Fuente. Propia.

En la anterior tabla se observa que los costos de implementación suman una cifra de \$250.000.

5.3.3 PRECIO POR TRATAMIENTO:

El precio por tratamiento es provisional ya que depende del número de Curtiembres en las que se implemente este sistema de fitorremediación, ya que a mayor cantidad disminuiría tal costo. Suponiendo que se realizara en una curtiembre únicamente el valor total de este sería la suma del costo mínimo y el costo de implementación como se puede observar en la tabla 7, es decir, una suma de \$4.475.500.

Tabla 7 Precio por tratamiento.

CONCEPTO	VALOR
Costo mínimo	\$2.893.900
Costo de implementación	\$250.000
TOTAL	\$3.143.900


Fuente. Propia.

5.4 Determinar los beneficios en las remociones de fitorremediación a través de la *Eichhornia crassipes*.

5.4.1 FICHA TECNICA

A continuación encontraremos la ficha técnica del desarrollo de la PTAR con base a la *Eichhornia Crassipes*.

Gráfica 10 Ficha técnica tratamiento fitorremediación

Eichhornia Crassipes		FICHA TECNICA EICHHORNIA CRASSIPES		CONSECUTIVO F1-01
				VERSION 01
				HOJA 1 DE 1
MATERIALES DEL DESARROLLO DE LA PTAR				
Cubeta con capacidad de 50L	1		Tapa bocas contra olores	1 c/u
Bucho de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	10		monogafas	1c/u
Frascos de vidrio para muestras	1		Botas	1 par c/u
Adesivos demarcadores	1		Guantes para trabajo en humedad	1 par c/u
Bolsas	5		Overol	1 c/u
Bolsas biológicas	6			
IMPLEMENTACION DE UNA PTAR A BASE DE EICHHORNIA CRASSIPES				
CUIDADOS : la planta debe ser cambiada cada tres tratamientos, se debe realizar la toma de registros de manera diaria				
PRECAUCIONES: los residuos (la blanta cargada con cromo) deben ser puestos en bolsas para desechos biológicos y entregados a entidades encargadas para el manejo y tratamiento delas mismas				
ELABORO			APROBO	
Cindy P, Paula R.				
REVISOR				







Fuente. Propia.

5.4.2 MANUAL DE USO

A continuación encontraremos el manual para la correcta implementación del sistema de la PTAR

Tabla 8 Manual de implementación de una PTAR usando *eichhornia crassipes*

MANUAL DE MANIPULACION E IMPLEMENTACION DE UNA PTAR A BASE DE EICHHORNIA CRASSIPES		
		
Extracción de la planta	Desarrollo de pruebas	Recolección y análisis de resultados
<p>Nombre : <i>Eichhornia Crassipes</i></p> <p>Ubicación :</p> <p>Método de recolección: para la recolección no se requiere de una manipulación especial, tan solo con retirarla del estanque con delicadeza para no maltratar sus raíces, esta una vez retirada del pantano no necesita ninguncuidado especial solo ser lavada y puesta en bolsas y evitar que esta se ponga en lugares con clima frío ya que esta no lo soporta.</p>	<p>Para la elaboración de la prueba piloto de esta Ptar se procede a poner en una cubeta que cuenta con una capacidad de 50 litros ala que se le vertiran 50 L de agua contaminada por Cromo y DBO es decir 180gr de <i>Eichhornia Crassipes</i> (dos plantas) por cada 10L de agua residual.</p> <p>Materiales del montaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cubeta con capacidad de 50L • 10 Plantas por montaje • 50 Litros de agua residual 	<p>Una vez pasado el tiempo determinado se procede a poner las muestras de agua en frascos contramarcados para posteriormente ser analizados en un laboratorio para la determinación de sustancias contaminantes aun existentes en las muestras de agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Como resultado se obtiene que hay una disminución de cromo de un 60% y de DBO de un 80%
	<p>RECOMENDACION</p>  <p>La planta debe ser cambiada cada tres tratamientos.</p>	<p>RECOMENDACIÓN</p> <p>Se puede seguir repitiendo el procedimiento hasta que se elimine el color que contiene el agua y hasta que se supriman por completo las cantidades de Cromo y DBO</p>

Fuente. Propia.

5.4.3 CONSUMIDOR (POBLACIÓN OBJETIVO): CURTIEMBRES SAN BENITO

El número de curtiembres es de 350 en el sector de San Benito en Bogotá (300 según Ecoparque San Benito), entre el río Tunjuelito y la calle 58 sur y entre la Avenida Tunjuelito y la Avenida Boyacá.

Tabla 9 Lista de curtiembres en Colombia

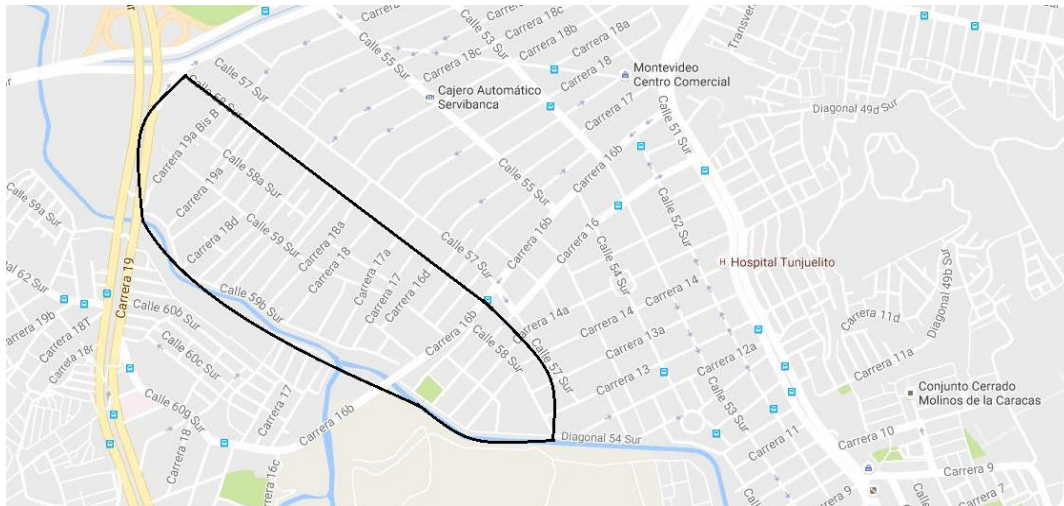
Lugar	Numero de curtiembres	Tamaño de las empresas	Producción ² Pieles / mes
Cundinamarca (Villapinzon, Chocota y Cogua)	190	124 microempresas 66 pequeñas	Prom. aprox: 70000 Máximo: 120000
Antioquia	5 Medellín 1 Guarne 1 Sonson	2 pequeñas 1 Mediana 4 grandes	Prom. aprox: 62000 Máximo: 74000
Bogota	350 (San Benito, San Carlos)	298 microempresas 42 pequeñas 10 Medianas	Prom. aprox: 33000 Máximo: 140000
Valle del Cauca	22	10 microempresas 8 pequeñas 4 Medianas	Prom. aprox: 40900 Máximo: 92150
Atlántico	2	2 Grandes	Promedio aproximado: 21000
Nariño	64	Todas microempresas	Prom. aprox: 19000 Máximo: 38000
Quindío	27	16 microempresas 10 pequeñas 1 mediana	Prom. aprox: 12000 Máximo: 50000
Bolívar	1	Mediana	Promedio aproximado: 10000
Risaralda	1	Mediana	Prom. aprox: 9000 Máximo: 12000
Santander	4	Sin información	Sin información

Fuente. Arango C. (2004)

5.4.4 NICHOS DE MERCADO

En la gráfica 11 se puede observar la ubicación geográfica y en área que ocupan las curtiembres de la zona de San Benito.

Gráfica 11 Mapa ubicacion d las curtiembres de San Benito



5.4.5 DEMANDA

De la totalidad de curtiembres se debe tomar una muestra significativa para realizar un estudio, se tomará como base la ecuación 1. Enunciada en el marco teórico en la pag.10 del presente texto, se eligió el margen de error según las indicaciones que este sugiere para hallar la cantidad de la muestra.

Entonces,

$$m = \frac{300}{(300 - 1) * 0.15^2 + 1} = \frac{300}{7,73} = 38$$

Según lo anterior se puede ver que una muestra representativa para una cantidad de 300 curtiembres teniendo un margen de error del 15% es de 38 curtiembres.

5.4.5.1 ENCUESTAS:

Para evaluar los beneficios que podría traer la implementación de esta propuesta y conocer si la población objetivo estaría dispuesta a utilizar este sistema de tratamiento en pro a la disminución de la contaminación de las aguas del río san Benito, se les dio a conocer dicho sistema y se realizó una encuesta a una muestra significativa de la población para estar al tanto acerca de la opinión general sobre determinado sistema y determinar si existiría o no un uso de este.

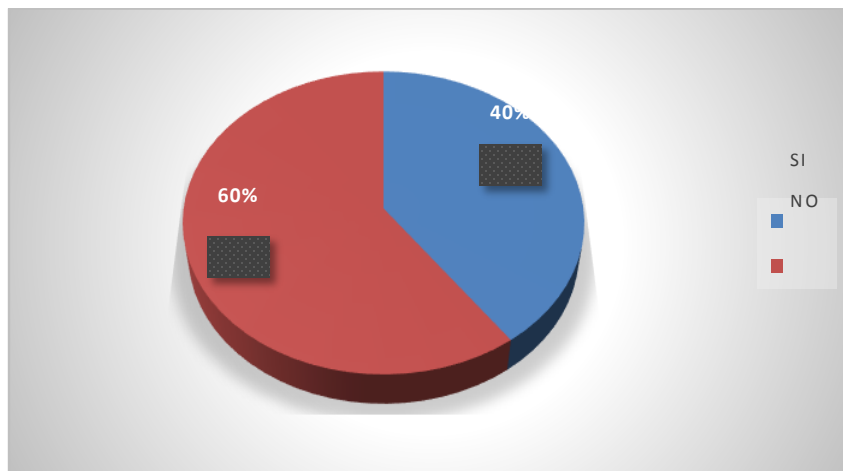
Para lo anterior se realizó una serie de preguntas cerradas para poder tener una respuesta exacta y poder determinar cuantitativamente el porcentaje que aprobaría es sistema de fitorremediación de aguas residuales:

1. ¿Usted tiene un PTAR?

SI NO

En la gráfica 12 se plasmaron los resultados en un diagrama a circular.

Gráfica 12 porcentajes acerca de la opinión sobre la existencia de una *PART* a los dueños de las curtiembres.



Fuente. Propia

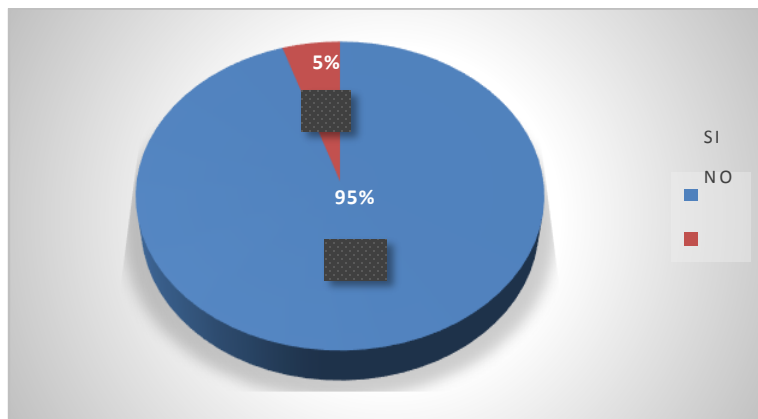
Como se puede observar en la gráfica 12 el 40% de la población encuestada cuenta con un sistema de tratamiento residual mientras que el 60% no tiene ningún plan de mitigación de contaminación para el medio ambiente.

2. considera importante la implementación de una PTAR?

SI NO

En la gráfica 13 se plasmaron los resultados en un diagram circular.

Gráfica 13 porcentajes acerca de la opinión sobre la importancia de una PTAR a los dueños de las curtiembres.



Fuente. Propia.

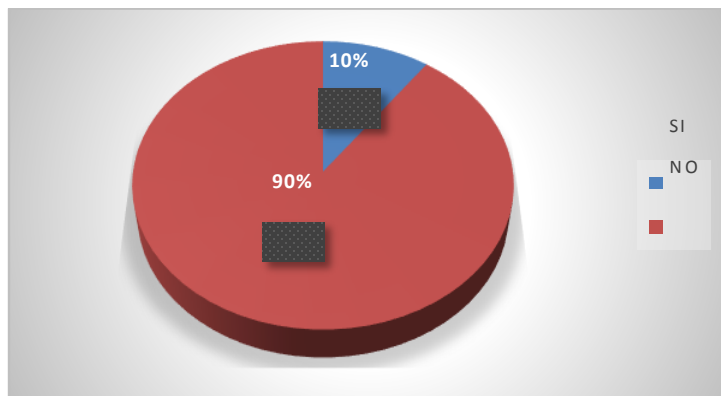
Como se puede observar en la gráfica 13 el 95% de la población encuestada le encuentra gran importancia a la implementación de la PTAR, mientras que el 5% se encuentra indiferente al tema.

3. ¿El tiempo de exposición es adecuado?

SI NO

En la gráfica 14 se plasmaron los resultados en un diagrama circular.

Gráfica 14 porcentajes acerca de la opinión sobre la conformidad de esta PTAR según los dueños de las curtiembres.

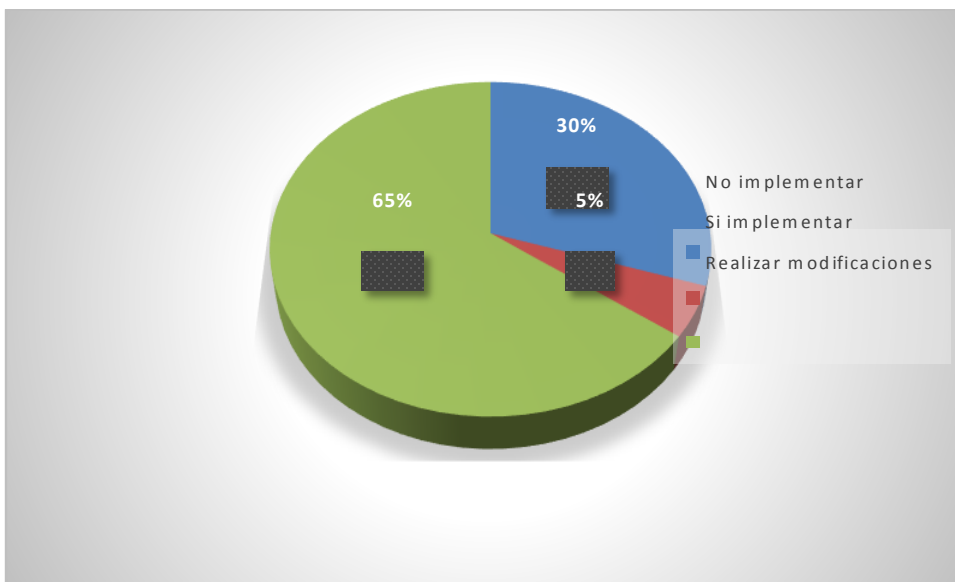


Fuente. Propia.

Como se puede observar en la gráfica 14 el 90% de la población encuestada cuenta se encuentra en desacuerdo con la duración para la efectividad de la PTAR, mientras que el 10% se encuentra indiferente al tema.

Finamente en la gráfica 15 se realizó un estudio en general de las personas que implementarían una PTAR en su curtiembre.

Gráfica 15 Resultados en términos porcentuales acerca de la opinión de los dueños de las curtiembres



Como se puede observar en la gráfica 15 el 30% de la población se encuentra en desacuerdo con la implementación de la PTAR y se niegan al desarrollo de la misma por que ya cuentan con una o por indiferencia al tema, por otro lado el 5% se encuentra en total acuerdo con la implementación de la misma mientras que un 65% propone modificaciones para satisfacer por completo necesidades que no están siendo tenidas en cuenta para así lograr un desempeño eficaz y eficiente de la misma.

Por último, a continuación en la tabla 10 se podrá observar un cuadro comparativo para determinar la relación entre el costo y el beneficio del sistema.

Tabla 10 Relación entre el costo y el beneficio del Sistema

COSTO	BENEFICIOS
El costo del tratamiento completo es de 3.142.900	1. Disminución del DBO un 80% y del cromo en un 60% 2. mitigación de la contaminación del río Tunjuelo 3. aporte en la prevención de multas ambientales. 4. Bajos costos del sistema en comparación a las PTAR tradicionales. (Costo aprox. otras PTAR \$50.000.000 / Costo PTAR fitorremediación \$3.142.900) es decir, el costo de las PTAR convencionales es aproximadamente 15 veces mayor.

Lo que la tabla anterior muestra es que la relación costo-beneficio es positiva.

5.4.6 DIFERENTES OFERTAS DE PTAR EN EL MERCADO:

5.4.6.1 Cueronet PTAR:

Maneja plantas de tratamiento con las siguientes etapas: Tamizado, desulfuración Homogeneización Sedimentación primaria Espesador Deshidratación, Piletas de tratamiento biológico. (Comunidad del cuero, Cueronet)

5.4.6.2 Proyecto alcaldía local de Tunjuelito:

El proyecto contempla, como primera opción, la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que evite verter elementos contaminantes al Río Tunjuelo. Según las primeras conversaciones adelantadas en las mesas de trabajo, la planta se construiría en el barrio San Benito y el Distrito financiaría el proyecto con la contribución de los

industriales, quienes realizarían sus aportes de acuerdo al volumen de producción que cada uno genere en su industria.

La segunda opción es la creación de una planta unificada de pelambre y curtición que retenga los sedimentos en una primera etapa del proceso. Es decir, que la sedimentación se centralice en el barrio San Benito y de allí sacar el agua utilizando los tubos que actualmente existen para llevarla hasta la altura de la localidad de Bosa. En este punto, los residuos serían tratados, en una segunda fase, por la planta de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado, ubicada cerca de la desembocadura del Tunjuelo en el Río Bogotá. (Alcaldía mayor de Bogotá, 2013)

Estas propuestas se realizaron el 2012 y en la actualidad no se ha realizado ninguna de estas.

5.4.6.3 PTAR informales ideadas por las curtiembres:

Con el fin de evitar una sanción por el incumplimiento a las normas ambientales, el 70% de las curtiembres montaron su propia “PTAR” donde limpian sus aguas y las reutilizan en el lavado del cuero y otras actividades y los lodos se los entregan a una empresa. El precio que pagan por el montaje de esta PTAR es de alrededor de \$50.000.000 y dependiendo del tamaño de la empresa, cabe recalcar que las personas que realizan este tratamiento no cuentan con el debido permiso para realizar esta sobre las aguas.

Capítulo IV

6. CONCLUSIONES

- Se caracterizó cada uno de los factores que genera la utilización de la *Eichhornia Crassipes* lo que nos llevó a realizar un minucioso estudio acerca de la implementación de esta en una PTAR en la industria de curtido por medio de un sistema de fitorremediación, fue allí donde se llegó a la conclusión que el uso de esta planta en aguas residuales indudablemente si reduciría el índice de contaminación de Cromo y DBO que esta presentara. Como segunda medida para completar la primera fase se elaboró un conglomerado de los requerimientos.

- Se identificó el grado de efectividad del sistema de fitorremediación gracias a las diferentes pruebas de laboratorio realizadas en la universidad los Libertadores, evidenciando que el sistema escalonado es efectivo removiendo el cromo en un 60% y el DBO en un 80% al término de un mes por lo cual se determinó que este sistema si es efectivo pero por este tiempo de duración no es eficaz, por lo tanto viendo el proyecto desde un punto de vista económico su implementación sería buena ya que es una cantidad significativa de la contaminación emitida por las curtiembres en el medio ambiente es decir podemos hablar de disminución mas no de eliminación ya que estas también emanan un componente bastante toxico el cual es Sulfuro. Cabe resaltar que esta PTAR es mucho más económica que otras disponibles en el mercado y eso le da una viabilidad económica, pero por ser un proceso tan demorado y robusto no se contaría con una retribución eficaz ya que este no puede satisfacer la necesidad requerida ni por tiempo ni por espacio.

-Se determinó todos y cada uno de los costos, tanto fijos como variables que interfieren a la hora de implementar la PTAR y con base a esto se desarrolló un sistema costo-beneficio acorde con el desempeño del sistema de fitorremediación.

-Se logró determinar que este sistema es beneficioso siempre y cuando se aplique a escala global ya que genera un gran aporte significativo al problema ambiental de las curtiembres, además es muy sencillo y económico a comparación de las PTAR convencionales.

Se diseñó y determinó el costo-beneficio en la implementación del sistema de fitorremediación de aguas residuales contaminadas con cromo en las curtiembres de san Benito sur de Bogotá.

7. RECOMENDACIONES.

- Se establecieron todos los componentes que integran el sistema de fitorremediación gracias a un estudio minucioso, tomando en cuenta datos de pasadas investigaciones y contemplando todos los factores que influyen en el correcto funcionamiento de este.

8. GLOSARIO

- **(DBO) O DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO:** es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. (RODIER,J. 1981)
- **PTAR O PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:** Es una instalación donde a las Aguas Residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reuso en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano (no para ingerir o aseo personal). (Fair, G.M, 1966)

- **FITORREMEDIACION:** La fitorremediación es la descontaminación de los suelos, la depuración de las aguas residuales o la limpieza del aire interior, usando plantas vasculares, algas (fitorremediación) u hongos (micorremediación), y por extensión ecosistemas que contienen estas plantas. Así pues, se trata de eliminar o controlar las diversas contaminaciones. La degradación de compuestos dañinos se acelera mediante la actividad de algunos microorganismos. (MP de souza et al, 1999)
- **LODO ACTIVO:** La eliminación de materia orgánica disuelta y los nutrientes de las aguas residuales tiene lugar durante el tratamiento biológico del agua. Normalmente se caracteriza por la interacción de distintos tipos de bacterias y microorganismos, que requieren oxígeno para vivir, crecer y multiplicarse y consumen materia orgánica. El lodo resultante llama lodo activo. Normalmente este lodo esta en forma de floculos que contienen biomasa viva y muerta además de partes minerales y orgánicas adsorbida y almacenada.
El comportamiento de sedimentación de los floculos de los lodos activos es de gran importancia para el funcionamiento de la planta de tratamiento biológico. Los floculos deben ser removidos, para separar la biomasa del agua limpia, y el volumen requerido de lodo activo puede ser bombeado de nuevo en el tanque de aireación. (Degremont, 1991).

Lista de referencias

Acosta P., Gómez N., Márquez G., Marzo, 2011. Evaluación de proyectos por medio del análisis costo beneficio. Universidad Nacional Experimental Politécnica.

Agüero, M. Métodos tradicionales de valoración. En: Economía Colombiana. Enero, 1996.

Alcaldía mayor de Bogotá, secretaría general. *Jue, 01/24/2013*. Alianza para descontaminación del Río Tunjuelo. Sitio web: <http://www.bogota.gov.co/localidades/tunjuelito/alianza-para-descontaminaci%C3%B3n-del-r%C3%ADo-tunjuelo-0>

Anjanabha, P. Kumar. (2010). Water hyacinth as a potential biofuel crop, *EJEAFChe* 9:1, 112-122.

Arango C., (2004). Diagnóstico y estrategias proyecto de gestión ambiental en el sector de curtiembres. Sitio web: <http://www.sirac.info/Curtiembres/html/Archivos/Publicaciones/EstrategiasDiagnostico.pdf>

Arenas, A., Merú, M. & Gosmyr, T. (2011). Evaluation of the plant *lemna minor* for the bioremediation of water contaminated with mercury. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2(3), 1-11.

Atehortúa, E. & Gartner, C. (2003). Preliminary studies of *eichhornia crassipes* dry biomass for lead and chromium removal from waters. *Revista Colombiana de Materiales*,

Bais, S. S., Lawrence, K., & Nigam, V. (2015). ANALYSIS OF HEAVY METALS REMOVAL BY EICHHORNIA CRASSIPES (MART.) SOLMS.

Balasubramaniana, K. Arunachalama, A. K. Dasb, Arunachalama (2012). Decomposition and nutrient release of Eichhornia crassipes (Mart.) Solms. Under different trophic conditions in wetlands of eastern Himalayan foothills. Ecological Engineering 2012.

Brima, P. I. Haris (2014). Arsenic Removal from Drinking Water using Different Biomaterials and Evaluation of a Phytotechnology Based Filter, Int Res. Environment Sci., 3:7, 39 – 44.

Carreño U, (2015). Tratamientos de aguas industriales con metales pesados a través de zeolitas y sistemas de biorremediación. revisión del estado de la cuestión.

Carreño U., Granada C., (2016). Diseño, desarrollo y evaluación de una tecnología de fitorremediación a escala de laboratorio utilizando la eichhornia crassipes para el tratamiento aguas contaminadas con cromo.

Chathuranga, P. D., Priyantha, N., Iqbal, S. S., & Iqbal, M. M. (2013). Biosorption of Cr (III) and Cr (VI) species from aqueous solution by Cabomba caroliniana: kinetic and equilibrium study. Environmental earth sciences, 70(2), 661-671.

Chisutia W; Mmari O. (2014). Adsorption of Congo Red Dye from Aqueous Solutions Using Roots of Eichhornia crassipes : Kinetic and Equilibrium Studies. Energy Procedia. Volume 50, 2014, Pages 862–869.

Epstein P. (2012). Weeds bring disease to the east African waterways. Lancet. Volume 351, No. 9102, p577, 21.

Fair, G.M., J.C. Geyer, y D.A. Okun. 1966. Water and Wastewater Engineering. 2 Volúmenes. Nueva York: John Wiley and Sons.

Gandhimathi, R., Ramesh, S. T., Arun, V. M., & Nidheesh, P. V. (2013). Biosorption of Cu (II) and Zn (II) ions from aqueous solution by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). International Journal of Environment and Waste Management, 11(4), 365-386.

Gebregiorgis, F. Y., Struik, P. C., Lantinga, E. A., & Taye, T. (2013). Joint use of insects and fungal pathogens in the management of waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*): Perspectives for Ethiopia. Journal of Aquatic Plant Management, 51, 109-121.

Gómez, H; Pinzón G. (2012). Análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque la florida, por fitorremediación usando buchón de agua. Tesis de especialización Universidad Militar.

Gopal, B. (1987). *Aquatic Plant Studies I. Water Hyacinth*. New York, USA: Elsevier Publishing. Guocheng, L., Li, Z., Wei-Teh, J., Ackley, C. & Fenske, N. (2014). Demarco removal of Cr (VI) from water using Fe (II)-modified natural zeolite. *Chem. Eng. Chemical Engineering Research and Design* (Impact Factor: 1.93), 92(2), 384– 390. DOI: 10.1016/j.cherd.2013.08.003

Han, Y., Shan, W., Ming, W., Nora, F. Y. T. (2008, October). Effects of anion species and concentration on the removal of Cr (VI) by a microalgal isolate, *Chlorella min-iata*. *Journal of Hazardous Materials*. 158(2–3), 615–620.

Hernández F., Molinos M., Sala R., Febrero, 2010. Estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio.

Higuera O; Arroyave J; Flórez L. (2008). Diseño De Un Biofiltro Para Reducir El Índice De Contaminación Por Cromo Generado En Las Industrias De Curtido De Cueros. Nro. 160, pp. 107-119.

Higuera, O., Escalante, H. & Laverde, D. (2005). Reducción del cromo contenido en efluentes líquidos de la industria del cuero, mediante un proceso adsorción – desorción con algas marinas. *Scientia et Technica*, 11(29).

Kasturiarachchi, JC. (2014). Removal of nutrients (N and P) and heavy metals (Fe, Al, Mn and Ni) from industrial wastewaters by phytoremediation using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) under different nutritional conditions.

Komy, Z. R., Abdelraheem, W. H., & Ismail, N. M. (2013). Biosorption of Cu ²⁺ by *Eichhornia crassipes* : physicochemical characterization, biosorption modeling and mechanism. *Journal of King Saud University-Science*, 25(1), 47-56.

Kumar, N., Baudh, K., Dwivedi, N., Barman, S. C., & Singh, D. P. (2012). Accumulation of metals in selected macrophytes grown in mixture of drain water and tannery effluent and their phytoremediation potential. *Journal of Environmental Biology*, 33(5), 923.

Legislación Europea. (2010). Gestión controlada de los residuos peligrosos (hasta finales de 2010). 05 de febrero de 2015, de Unión Europea Sitio web: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000D0532:20020101:ES:PDF>.

Lenka M, Kamal K. Panda, Brahma B. (1990). Studies on the ability of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to bioconcentrate and biomonitor aquatic mercury. *Environmental Pollution* | Vol 66, Iss1, Pgs 1-101.

Lowe S., Browne M., Boudjelas S., De Poorter M. (2000). *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database*. Publicado por el Grupo Especialista de Especies Invasoras (GEEI), un grupo especialista de la Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), 12pp. Primera edición, en inglés, sacada junto con el número 12 de la revista Aliens, diciembre 2000. Versión traducida y actualizada: noviembre 2004.

MATA, María Cristina; 1994 Cómo conocer la audiencia de una emisora, los son deos de audiencia. Cuadernos de investigación No. 3. ALER, Quito.

MATA, María Cristina; MACASSI, Sandro;1997 Cómo elaborar muestras para los sondeos de audiencias. Cuadernos de investigación No 5. ALER, Quito.

Módenes, A. N., Espinoza-Quiñones, F. R., Trigueros, D. E., Lavarda, F. L., Colombo, A., & Mora, N. D. (2011). Kinetic and equilibrium adsorption of Cu (II) and (II) ions on Eichhornia crassipes in single and binary systems. Chemical Engineering Journal, 168(1), 44-51.

M.P. de Souza, D. Chu, M. Zhao, A.M. Zayed, S.E. Ruzin, D. Schichnes, and N. Terry. "Rhizosphere Bacteria Enhance Selenium Accumulation and Volatilization by Indian Mustard" . Plant Physiol. (1999) 119: 565-574.

Ndimele, P. E., Kumolu-Johnson, C. A., Chukwuka, K. S., Ndimele, C. C., Ayorinde, O. A., & Adaramoye, O. R. (2014). Phytoremediation of Iron (Fe) and Copper (Cu) by Water Hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms). Trends in Applied Sciences Research, 9(9), 485.

Padma S.; Dhara B. (2008). Phyto-remediation of chrome-VI of tannery effluent by Trichoderma species. Padmapriya, G., & Murugesan, A. G. (2015). Biosorption of copper ions using rhizoplane bacterial isolates isolated from Eicchornia crassipes ((Mart.) solms with kinetic studies. Desalination and Water Treatment, 53(13), 3513-3520.

Pellón, A., Rodríguez, M. & González, O. (2011). Remoción de cromo mediante el uso de un biorreactor utilizando *scenedesmus obliquus* inmovilizado. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 32, (334- 335), 161-166.

Pérez, M., Demand for drinking water in rural areas: cost recovery, user characteristics and quality of service. Elements for tariff policy. Preliminary PhD research proposal. Cali, Colombia. Mimeo. 1998.

PINEDA, Beatriz; DE ALVARADO, Eva Luz; DE CANALES, Francisca 1994
Metodología de la investigación, manual para el desarrollo de personal de salud,
Segunda edición. Organización Panamericana de la Salud. Washington.

Propiedad de la Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C... (30/12/2005).
DECRETO 4741 DE 2005. 05 de febrero de 2015, de Diario Oficial 46137 de diciembre
30 de 2005 Sitio web:
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18718>.

RODIER, J. Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona, 1981.

Rodríguez, A. (2013). Estudio de la cepa *Streptococcus* y *Kingella* en remoción de metales pesados en aguas industriales. Estudio de Caso.

Sotolu, A. O. (2013). Management and Utilization of Weed: Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for Improved Aquatic Resources. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 8(1), 1-8.

Sung, K., Lee, G. J., & Munster, C. (2015). Effects of *Eichhornia crassipes* and *Ceratophyllum demersum* on soil and water environments and nutrient removal in wetland microcosms. *International journal of phytoremediation*, (just-accepted), 00-00.

Swain, G., Adhikari, S., & Mohanty, P. (2014). Phytoremediation of Copper and Cadmium from Water Using Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes* .International Journal of Agricultural Science and Technology.

Vásquez B. (2012).El tratamiento de los desechos líquidos de la zona de tintura en las flores para la exportación con *Eichhornia crassipes* (Buchón de Agua). Revista Lasallista de Investigación; Julio - Diciembre de 2012 Vol.1, No. 2.

Velarde H; Zavaleta A; Aguilar Q.(2013). Estudio de la absorción del ion cromo vi con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Universidad Nacional de Trujillo. 2 encuentro de investigadores.

Veranes, O., Pellón, A., Espinosa, M. & Oña, A. (2009, enero-abril). Estudio del comportamiento de la microalga *scenedesmus obliquus* para la precipitación de cromo en albañal sintético. *Revista Cubana de Química*, 24(1).

Villamagna, B.R. Murphy. (2010). Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth: a review, *Freshwater Biology*, 55, 282-298.

Wash. Lesson learned, the wáter and sanitation for health. Washington. 1990.

Xia H, Xiangjuan M. (2006). La fitorremediación de ethion por el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) del agua.

Water treatment handbook, Degremont 1991

Xiaosen Li, Songlin Liua, Zhongyuan N, Diannan Lua, Zheng Liu. (2013)."Adsorption, concentration, and recovery of aqueous heavy metal ions with the root powder of *Eichhornia crassipes* " *Ecological Engineering*.Volume 60, November 2013, Pages 160–166.

Zimmels, F. Malkovskaja. (2005). Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management* (Impact Factor: 3.19).

8. APÉNDICE

Según lo investigado se requieren dos permisos para poder ejecutar el sistema de tratamiento, los cuales son el permiso de vertimientos y la licencia ambiental, con las siguientes especificaciones como lo indica el sitio web: [https://www.crq.gov.co/Documentos/ATENCION% 20AL% 20USUARIO/Revista% 20tramites.pdf](https://www.crq.gov.co/Documentos/ATENCION%20AL%20USUARIO/Revista%20tramites.pdf)

PERMISO DE VERTIMIENTOS

Es el permiso que otorga la autoridad ambiental para el tratamiento de las aguas residuales en sitios donde no existen sistemas de alcantarillado para la disposición final de los residuos líquidos con el fin de evitar la contaminación de fuentes superficiales ó en campo abierto.

Normativa:

Ley 99/93.

Decreto 1541/78.

Decreto 1594/84.

Requisitos:

- Formulario de solicitud completamente diligenciado en letra legible y firmado por el interesado.
- Poder debidamente autenticado, si se actúa en representación del interesado o cuando existe más de un propietario del predio.
- Certificado de existencia y representación legal en el caso de ser Persona Jurídica (no mayor a 60 días de expedición).

- Fotocopia de la escritura y certificado de tradición y libertad del inmueble (no mayor a 60 días de expedición).
- Certificado de disponibilidad de servicio de acueducto ó último recibo vigente de pago del servicio.
- Croquis de localización detallado del predio, con indicación de vereda, municipio y vías para llegar fácilmente.
- Presentar los resultados del ensayo de percolación o absorción realizado por un laboratorio certificado ó anexar los registros fotográficos que confirme esta actividad, cuando el receptor del vertimiento es el suelo y cuando es prefabricado debe incluir el diseño del pozo de absorción o campo de infiltración.
- Diseño y memoria de cálculos del sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas, compuesto por trampa de grasas, tanque séptico, filtro anaeróbico y pozo de absorción ó campo de infiltración, los cuales deben cumplir con el reglamento técnico del sector de agua potable RAS 2000.
- Pagar en Tesorería de la CRQ, de acuerdo al valor estipulado en la Resolución de Bienes y Servicios por concepto de visita técnica y publicaciones en el boletín ambiental y anexar el recibo con los documento.
- Entrega de todos los documentos en la oficina de Atención al Cliente.

Cuando se presenten sistemas de tratamiento prefabricados o cuando se trate de legalizar un sistema de tratamiento construido con anterioridad el usuario debe presentar:

La misma documentación del Numeral 1 al 7 más:

- Diseño y memoria de cálculos del pozo de absorción ó campo de infiltración para sistemas prefabricados.
- Planos a escala de las estructuras que componen el sistema de tratamiento para las aguas residuales, domésticas ó industriales según sea el caso.
- Anexar en el formulario de solicitud la información correspondiente a la construcción con anterioridad del sistema de tratamiento.

LICENCIAS AMBIENTALES

Es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra ó actividad que de acuerdo con la ley y los reglamentos puedan producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente y/o introducir modificaciones considerables ó notorias al paisaje.

Normativa:

Decreto 1220/05.

Requisitos:

- Concepto previo Diagnóstico Ambiental de alternativas.
- Plano IGAC de localización del proyecto, obra ó actividad.
- Poder debidamente otorgado cuando se actúe por medio de apoderado.
- Certificado de existencia y representación legal para el caso de persona jurídica, el cual debe haber sido dentro de los 3 meses anteriores a la fecha de presentación de la solicitud.
- Descripción explicativa del proyecto, obra ó actividad que incluya por lo menos su localización, dimensión y costo estimado de inversión y operación.
- Descripción de las características ambientales generales del área de localización del proyecto, obra ó actividad. - Información sobre la presencia de comunidades localizadas en el área de influencia directa del proyecto, obra ó actividad propuesta.
- Certificado del Ministerio del Interior y Justicia donde manifiesta la presencia o no de comunidades indígenas y/o negras.
- Autoliquidación y dos copias de la constancia de pago por los servicios de la evaluación de los estudios Ambientales del proyecto, obra o actividad, para las solicitudes radicadas ante el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial.
- El estudio del impacto ambiental en original y medio magnético.

9. VITA

Paula Rodríguez y Cindy Poveda, Autoras de la presente tesis han sido compañeras y amigas a lo largo de toda su carrera de ingeniería industrial, las dos se graduaron en el año 2011 como bachiller académico, iniciaron sus estudios profesionales en la fundación universitaria los Libertadores en el año 2012 – 1 y culminaron la totalidad de sus créditos en el año 2016 – 1 teniendo un promedio destacable. Ambas tienen 21 años de edad y residen en la ciudad de Bogotá con sus respectivos padres.